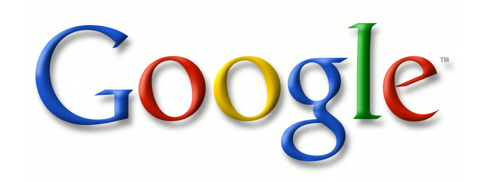
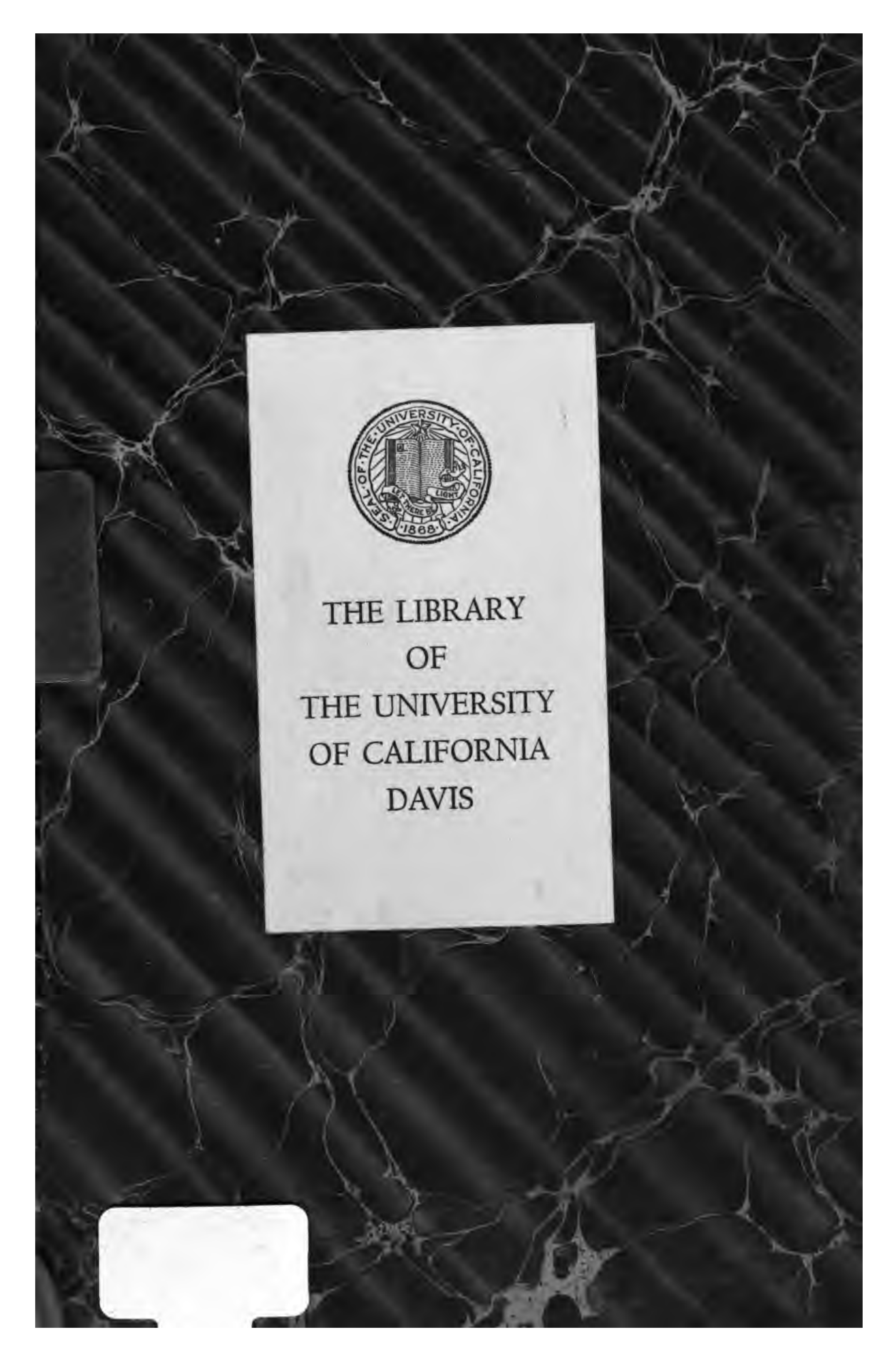
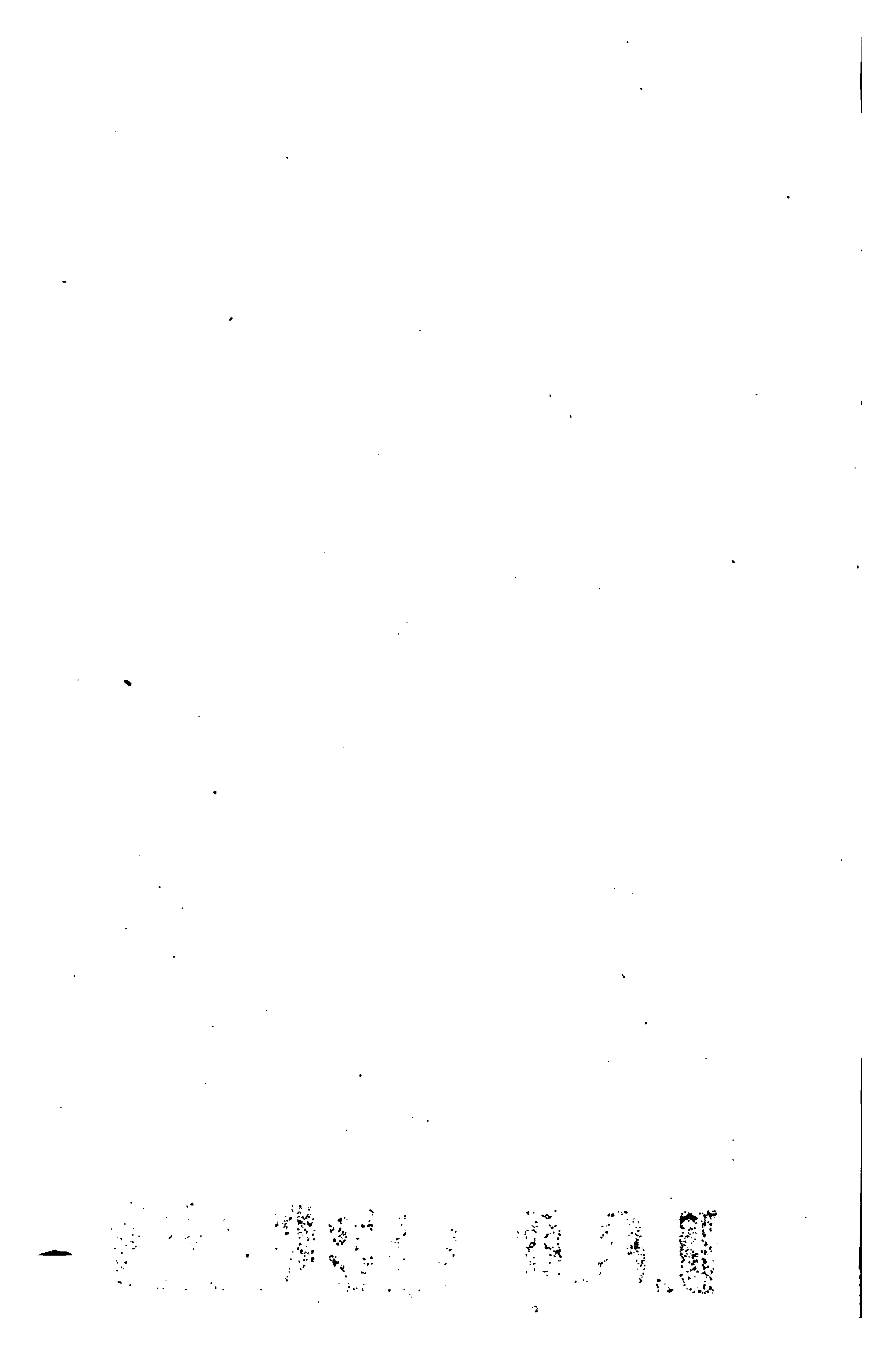




SEAL OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LET THERE BE LIGHT
1868





MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878, A PARIS.

CONGRÈS ET CONFÉRENCES DU PALAIS DU TROCADÉRO.

COMPTES RENDUS STÉNOGRAPHIQUES
PUBLIÉS SOUS LES AUSPICES
DU COMITÉ CENTRAL DES CONGRÈS ET CONFÉRENCES
ET LA DIRECTION DE M. CH. THIRION, SECRÉTAIRE DU COMITÉ,
AVEC LE CONCOURS DES BUREAUX DES CONGRÈS ET DES AUTEURS DE CONFÉRENCES.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DE
MÉTÉOROLOGIE

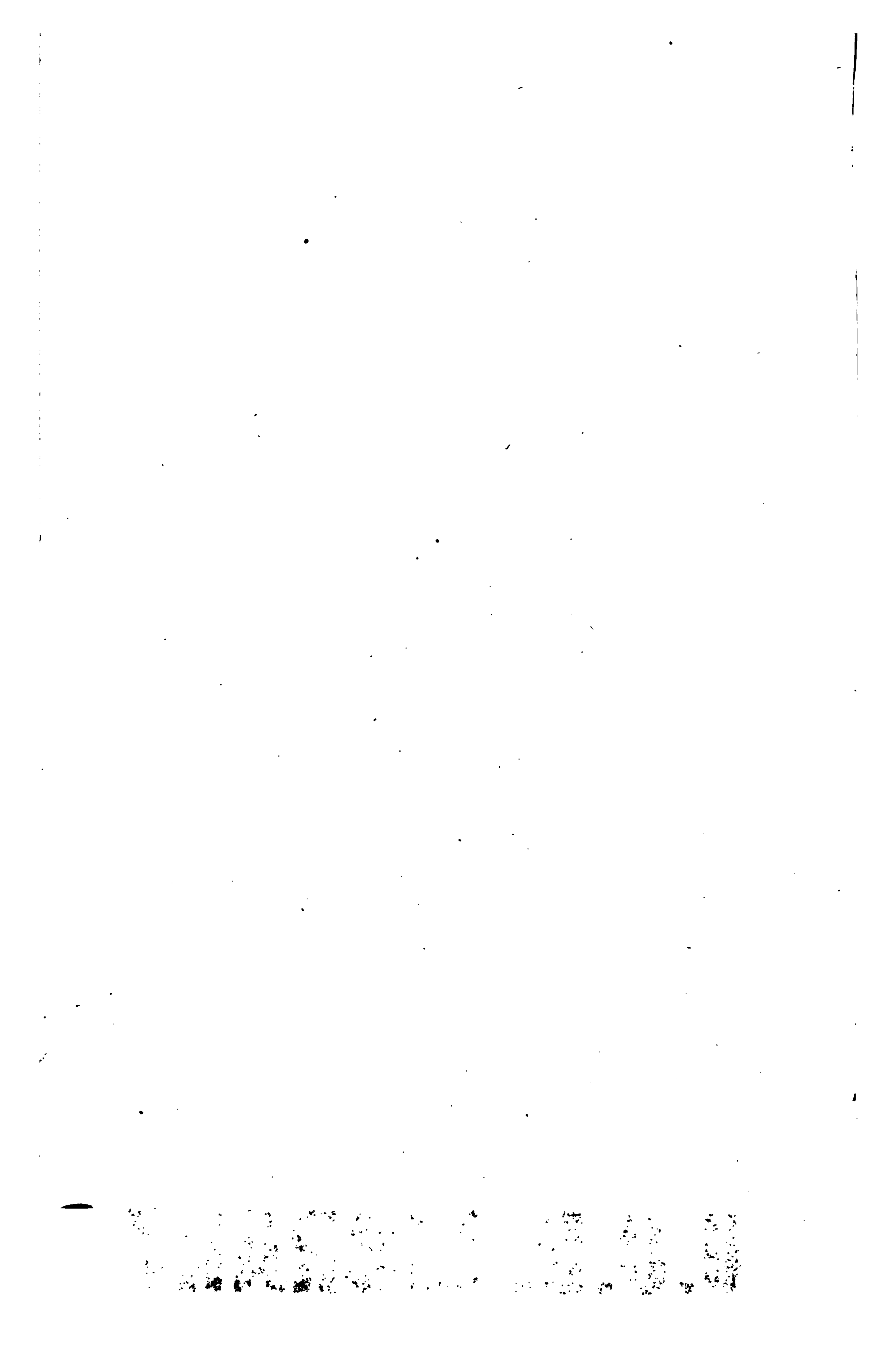
TENU À PARIS DU 24 AU 28 AOÛT 1878.

N° 20 de la Série.



PARIS.
IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXIX.



CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

MÉTÉOROLOGIE,

TENU À PARIS DU 24 AU 28 AOÛT 1878.

ARRÊTÉ

DE M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE

AUTORISANT LE CONGRÈS.

Le Ministre de l'agriculture et du commerce,

Vu notre arrêté en date du 10 mars 1878, instituant huit groupes de Conférences et de Congrès pendant la durée de l'Exposition universelle internationale de 1878;

Vu le Règlement général des Conférences et Congrès;

Vu l'avis du Comité central des Conférences et Congrès,

Arrête :

Article premier. Un Congrès international de météorologie est autorisé à se tenir au palais du Trocadéro, du 24 au 28 août 1878.

Art. 2. M. le Sénateur, Commissaire général, est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Paris, le 6 juin 1878.

Le Ministre de l'agriculture et du commerce,

TEISSERENC DE BORT.

ORGANISATION DU CONGRÈS.

COMITÉ D'ORGANISATION.

L'initiative de réunir à Paris, pendant la durée de l'Exposition universelle, un Congrès international de météorologie a été prise par la Société météorologique de France. Dans sa séance du 12 mars 1878, sur la proposition de son président, M. Hervé-Mangon, la Société reconnaissait l'intérêt qu'il y aurait à réunir les météorologistes de la France et de l'étranger et à profiter, en même temps, de la présence à Paris d'un grand nombre de savants distingués. L'assemblée autorisa le même jour son président à faire toutes les démarches et à prendre toutes les mesures qui lui paraîtraient nécessaires pour assurer la réussite de ce projet.

M. Hervé-Mangon pensa qu'il serait utile d'associer à cette entreprise l'Association française pour l'avancement des sciences et l'Association scientifique de France. Le Conseil de la Société météorologique s'adjoignit alors quatre délégués nommés par chacune de ces associations, et forma avec eux un *comité d'organisation* composé ainsi qu'il suit :

Pour la Société météorologique de France :

Président.

M. Hervé-Mangon, de l'Institut, président du comité d'organisation.

Vice-présidents.

MM. général Farre.
d'Abbadie, de l'Institut.
docteur Lunier.
Dausse.

Secrétaires.

MM. G. Lemoine.
L. Teisserenc de Bort.

Vice-secrétaires.

MM. Sartiaux.
L. Rédier.

Trésorier.

M. Angot.

Archiviste-bibliothécaire.

M. Renou.

Membres du Conseil.

MM. Janssen, de l'Institut.
Delesse.

MM. Cousté.
G. Tissandier.
docteur Decaisne.
Brault.
du Moncel, de l'Institut.
P. Marès.
Lavallée.
Chatin, de l'Institut.
Mouchez, de l'Institut.
docteur Bérigny.

Pour l'Association française pour l'avancement des sciences :

MM. Baille.
Bischoffsheim.
Gavarret.
colonel Laussedat.

Pour l'Association scientifique de France :

MM. Cornu, de l'Institut.
Fron.
amiral Pâris, de l'Institut.
Ploix.

PROGRAMME PROVISOIRE

DES QUESTIONS À EXAMINER PAR LE CONGRÈS.

I. Quelle est l'organisation de l'étude des orages en Europe et en Amérique? Quels seraient les moyens d'assurer à l'étude des orages des bases uniformes pour suivre leur marche, non seulement sur un espace limité, mais sur un continent tout entier?

II. Quel est le système le plus avantageux de représentation des orages et de leur marche? Quels signes et quelles abréviations pourrait-on adopter pour faciliter à chaque météorologiste, quelle que soit sa nationalité, l'intelligence des cartes d'orages? (Les météorologistes sont priés d'envoyer au Comité les spécimens des cartes d'orages ou des imprimés employés dans leur pays.)

III. Origine et mode de propagation des trombes ou cyclones.

IV. Comment peut-on expliquer les trombes marines ou terrestres qui semblent se former et se maintenir en calme plat?

V. Quelles seraient les mesures à prendre pour rendre plus nombreuses et plus parfaites les observations météorologiques faites pendant les ascensions aérostatiques? Emploi des ballons captifs.

VI. Discussion des méthodes d'observations magnétiques; variations de la déclinaison et de la force horizontale terrestre avec les différents phénomènes atmosphériques.

VII. Relations des taches solaires avec les phénomènes météorologiques.

VIII. Influence du relief, de la configuration et de la nature du sol sur le climat des différentes contrées; effets du voisinage de la mer, des lacs, des marais, des cours d'eau et des diverses cultures.

IX. Influence de la culture, des gazonnements et des reboisements sur la production de la rosée, sur la quantité de pluie tombée et sur son écoulement à la surface du sol.

X. Observations sur les hauteurs des cours d'eau. Système d'avertissement des crues.

XI. Des progrès réalisés dans les études séismiques.

XII. Origine et nature des brouillards secs.

XIII. Des meilleurs moyens de constater, dans les études météorologiques, la variation des éléments de l'atmosphère et des eaux météoriques (acide carbonique, acide nitrique, ammoniaque, ozone, poussières de l'air, miasmes, etc.).

XIV. Quelle est la valeur des papiers ozonométriques?

XV. Quelles seraient les mesures à adopter dans les observations pour hâter les progrès de la météorologie chimique?

XVI. De l'importance des instruments enregistreurs au point de vue des progrès de la météorologie.

Nota. Les questions suivantes, qui appartiennent au programme des congrès internationaux périodiques, ne seront étudiées que d'une manière préparatoire, en vue de réunir les éléments de la solution à intervenir ultérieurement.

XVII. Peut-on donner des règles précises sur la manière la plus convenable de disposer le thermomètre pour déterminer la température de l'air? (Les météorologistes sont priés d'envoyer ou d'apporter au Congrès les dessins des abris employés dans leur pays, et une notice indiquant les avantages et les inconvénients de chaque système.)

XVIII. Quelles sont les heures d'observations dans chaque pays pour les stations de 1er, de 2e ou de 3e ordre?

XIX. Quelles sont les heures d'observations que l'on pourrait recommander d'une manière un peu générale?

XX. Des méthodes employées pour la mesure de l'évaporation.

XXI. Mesure et répartition de la pluie; mesure de la neige.

XXII. Existe-t-il des recherches nouvelles sur une méthode simple et certaine pour déterminer la radiation?

XXIII. Méthodes d'observation de l'électricité atmosphérique. Origines et variations de l'électricité atmosphérique.

XXIV. De l'utilité d'introduire les observations simultanées dans la marine et de la marche à suivre pour réaliser ces observations.

RÈGLEMENT GÉNÉRAL
DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉTÉOROLOGIE.

I. Un Congrès international de météorologie, autorisé par arrêté de M. le Ministre de l'agriculture et du commerce, en date du 6 juin 1878, tiendra ses séances à Paris, au palais du Trocadéro, du 24 au 28 août 1878.

II. Seront membres du Congrès les personnes qui se feront inscrire et qui auront reçu une carte d'admission. Cette carte est entièrement gratuite.

III. Les questions portées au programme ci-dessus seront inscrites de droit à l'ordre du jour des séances générales. D'autres questions intéressant la météorologie pourront également être examinées, mais seulement avec l'autorisation préalable du bureau.

IV. Le Congrès tiendra deux séances par jour :

La première à neuf heures du matin, au palais des Tuileries, guichet des Lions.

La seconde à deux heures et demie du soir, au palais du Trocadéro.

V. Le compte rendu des séances du Congrès sera publié par les soins du comité d'organisation.

VI. Les personnes qui désireront recevoir ce compte rendu devront acquitter le montant d'une souscription destinée à couvrir les frais d'impression et d'expédition de l'ouvrage. Le chiffre de la souscription sera fixé dans l'une des séances de la session. La souscription sera facultative; mais l'envoi du compte rendu ne sera fait qu'aux personnes qui auront acquitté leur cotisation avant de quitter Paris.

VII. Les travaux des membres du Congrès destinés à la publication devront être remis au plus tard le jour de la clôture de la session. Le comité d'organisation, chargé de la publication, se réserve de fixer l'étendue des mémoires ou communications livrées à l'impression.

LISTE GÉNÉRALE DES ADHÉRENTS.

Les personnes admises au Congrès étaient : 1° tous les membres de la Société météorologique de France ; 2° des invités étrangers ; 3° des membres adhérents munis de cartes spéciales d'entrée. Un grand nombre de ces cartes ont été distribuées au moment même du Congrès, de sorte qu'il est impossible de donner une liste complète des personnes qui ont assisté régulièrement aux séances. On a relevé sur les feuilles de présence les noms suivants :

Parmi les membres étrangers,

MM. von Baumhauer, de Harlem (Pays-Bas).
Billwiller, de Zurich (Suisse).

MM. Buys-Ballot, d'Utrecht (Pays-Bas).
Collins (Jérôme-J.), de New-York (États-Unis).
Denza (R. P.), de Moncalieri (Italie).
Dufour (Ch.), de Morges (Suisse).
Dufour (Henri), de Lausanne (Suisse).
Ekstrand, d'Upsal (Suède).
Gérard (A.), commissaire des États-Unis à l'Exposition.
Hoffmeyer, de Copenhague (Danemark).
Lancaster (A.), de Bruxelles (Belgique).
Lancia di Brolo, de Palerme (Italie).
Montigny (Ch.), de Bruxelles (Belgique).
Passau, d'Arlon (Belgique).
Pérard, de Liége (Belgique).
Ragona, de Modène (Italie).
Ryan (John-J.), des États-Unis.
Susani (G.), de Milan (Italie).
Symons (G.), de Londres (Angleterre).
Teszensky, de Buda-Pest (Hongrie).
Vilanova, de Madrid (Espagne).
Wallem (Fredrik-M.), de Christiania (Norwége).
Zenger, de Prague (Autriche).
Zweifel, de Mulhouse (Alsace).
Zweifel fils, de Mulhouse (Alsace).

Parmi les membres français, nous pouvons retrouver les noms de :

MM. Alluard (Clermont-Ferrand).
André (Ch.) (Lyon).
Angot (A.) (Paris).
d'Arlot de Saint-Sand (Paris).
Armbuster (Belfort).
général Arnaudeau (Paris).
abbé Artus, Garat (Charente).
Auzillion (Montpellier).
docteur Bérigny (Versailles).
Bichat (Nancy).
Boinot (Paris).
docteur Borius (Brest).
Bouquet de la Grye (Paris).
Brault (Paris).
du Breuil (Paris).
Cabet, Elbeuf (Seine-Inférieure).
Carcauzon (Paris).
Carlier, Saint-Martin-de-Hinx (Landes).
amiral Cloué (Paris).
Collet, Villemoisson (Seine-et-Oise).
Cousté (Paris).

MM. Crova (Montpellier).
Daremberg, Menton (Alpes-Maritimes).
docteur Decaisne (Paris).
Deherain, Grignon (Seine-et-Oise).
Delarue (Paris).
Descroix (Paris).
Doumet-Adamson (Montpellier).
Dubreuil (Paris).
Dufet (Paris).
du Mesnil (Paris).
général Farre (Paris).
Faupin (Blois).
Fautrat (Paris).
docteur Fines (Perpignan).
Girard (Maurice) (Paris).
colonel Goulier (Paris).
Gully (L.) (Rouen).
Hébert (Draguignan).
Hercouët (Saint-Malo).
Hermary (Paris).
Hervé-Mangon (Paris).
Huguény (Marseille).
Hureau de Villeneuve (Paris).
Jeanjean (Bar-le-Duc).
Jordan (C.) (Paris).
Le Blanc (Caen).
docteur Lecadre (Le Havre).
Leloup, Châlons (Marne).
Lemoine (G.) (Paris).
Louvet (Lorient).
docteur Lunier (Paris).
Marchand (E.) (Fécamp).
Marès (P.) (Paris).
Mariotti (Versailles).
colonel Martin de Brettes (Versailles).
Mascart (Paris).
abbé Maze, Harfleur (Seine-Inférieure).
Millet (Paris).
Moureaux (Paris).
général de Nansouty (Pic du Midi de Bigorre).
de Nansouty (Max) (Paris).
Pagnoul (Arras).
commandant Perrier (Paris).
de Pietra-Santa (Paris).
comte du Plessis d'Argentré, S[t]-Denis-sur-Scie (Seine-Inférieure).
Ploix (Ch.) (Paris).

MM. Poincaré (Bar-le-Duc).
de Puydt (Paris).
Rédier (A.) (Paris).
Rédier (L.) (Paris).
Renou, Saint-Maur (Seine).
Reymonet (Marseille).
Ritter (Paris).
Rommieu (Paris).
abbé Rougerie (Rochechouart).
Roulleau, Thouars (Deux-Sèvres).
Mme Royer (Clémence), Paris.
MM. abbé Salmon (Paris).
Seyti (Paris).
Silbermann (Paris).
Stéphan (Marseille).
Tarry (Paris).
Tassin (Soissons).
de Tastes (Tours).
Teisserenc de Bort (Léon), Paris.
Tonnelot (Paris).
comte Sansac de Touchimbert (Poitiers).
Tremeschini (Paris).
docteur de Valcourt (Cannes).
Vaussenat (Bagnères-de-Bigorre).
Viguier (Montpellier).
Violle (Grenoble).

DÉLÉGUÉS DES GOUVERNEMENTS.

FRANCE.

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

M. Mascart, directeur du bureau central météorologique de France.

MINISTÈRE DE LA GUERRE.

MM. le général Farre, président du comité des fortifications.
le général Arnaudeau, sénateur.
le commandant Perrier, membre du bureau des longitudes.

MINISTÈRE DE LA MARINE.

MM. le vice-amiral Cloué, directeur du Dépôt des cartes et plans de la marine.
Brault, lieutenant de vaisseau.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

M. TISSERAND, inspecteur général de l'agriculture.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

MM. JORDAN (C.), ingénieur des mines.
LEMOINE (G.), ingénieur des ponts et chaussées.

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR.

MM. le docteur DU MESNIL, médecin de l'asile national des convalescents à Vincennes.

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES.

M. le vicomte D'ARLOT DE SAINT-SAND.

ITALIE.

Le R. P. DENZA, directeur de l'Observatoire du collège royal Charles-Albert, à Moncalieri.

PAYS-BAS.

M. BUYS-BALLOT, directeur de l'Institut météorologique d'Utrecht.

DANEMARK.

M. HOFFMEYER, directeur de l'Institut central météorologique de Danemark.

SUÈDE.

M. le professeur A.-G. EKSTRAND, professeur agrégé à l'Université d'Upsal.

NORWÉGE.

M. le docteur Fredrik-M. WALLEM.

RÉPUBLIQUE DU CHILI.

M. MORLA VICUNA, secrétaire de la légation de Chili à Paris.

DÉLÉGUÉS DES SOCIÉTÉS SAVANTES.

La Société centrale d'agriculture : MM. Edmond BECQUEREL, de l'Institut, et BARRAL (France).

La Société des agriculteurs de France : MM. DU BREUIL, DEHÉRAIN, Maurice GIRARD, MARIÉ-DAVY, MILLET et ROMMIEU (France).

La Société centrale d'agriculture de la Seine-Inférieure : M. le comte du Plessis d'Argentré (France).

Enfin le Bureau météorologique du *New-York Herald* était représenté par son directeur, M. Jérôme-J. Collins.

COMPOSITION DU BUREAU DU CONGRÈS.

Président du comité d'organisation.

M. Hervé-Mangon, membre de l'Institut.

Présidents étrangers.

MM. Buys-Ballot, directeur de l'Institut météorologique d'Utrecht.
Hoffmeyer, directeur de l'Institut météorologique de Danemark.
R. P. Denza, délégué du Gouvernement italien.
Symons, F. R. S., membre du Conseil météorologique d'Angleterre.

Vice-présidents français.

MM. Hervé-Mangon, membre de l'Institut.
Renou, directeur de l'Observatoire du Parc Saint-Maur.
Alluard, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.
général de Nansouty, directeur de l'Observatoire du Pic du Midi.

Secrétaire général.

M. Alfred Angot.

Secrétaires des séances.

MM. Léon Teisserenc de Bort.
Brault.
G. Lemoine.
Fautrat.

RÉUNIONS DU 24 AOÛT 1878.

1° SÉANCE DU MATIN (PALAIS DES TUILERIES).

PRÉSIDENCE DE M. BUYS-BALLOT (PAYS-BAS).

SOMMAIRE : Nomination des secrétaires. — Abbé ROUGERIE : Études sur les vents. — SILBERMANN : Influences des planètes; forme des nuages. — R. P. DENZA : Carte magnétique de l'Italie.

La séance est ouverte à 9 heures et demie.

À la prière du comité d'organisation, M. BUYS-BALLOT, directeur de l'Institut météorologique d'Utrecht, préside la séance du matin.

M. HERVÉ-MANGON rend compte aux membres présents des travaux du comité d'organisation et propose de fixer à la séance du soir l'élection du bureau.

La réunion adopte la proposition du comité d'organisation et décide que le bureau sera composé de quatre présidents étrangers et de quatre vice-présidents français, dont deux choisis dans les membres habitant Paris, et deux dans les membres résidant en province. M. HERVÉ-MANGON demande, au nom du comité d'organisation, que l'on choisisse des membres français comme secrétaires de séances; il indique les noms de MM. Teisserenc de Bort, Brault, Lemoine et Fautrat, qui ont bien voulu promettre leur concours. Il demande également que M. Angot, qui a rempli les fonctions de secrétaire général dans la commission d'organisation, reste chargé des mêmes fonctions auprès du Congrès.

Ces propositions sont adoptées par l'assemblée, et il est convenu en outre que M. Angot fera les procès-verbaux des quatre séances du matin. Les comptes rendus des séances du soir seront rédigés : le samedi 24 août, par M. Léon Teisserenc de Bort; le lundi 26 août, par M. Brault; le mardi 27 août, par M. G. Lemoine, et le mercredi 28 août, par M. Fautrat.

M. l'abbé ROUGERIE lit une communication sur la théorie des rapports qui existent entre la pression barométrique en un point de l'Atlantique Nord et la direction et la vitesse des vents en ce même point, pendant les mois d'été. (V. à la suite des procès-verbaux, annexe n° 7.)

M. J. SILBERMANN traite de l'influence des planètes sur les phénomènes météorologiques et terrestres et sur les taches du soleil. Il indique également

quelques questions relatives à l'étude de la forme des nuages, et qui offrent, selon lui, une grande importance.

Le R. P. Denza (Italie) décrit l'état d'avancement de l'étude du magnétisme terrestre, entreprise en Italie sous sa direction et sous les auspices du ministère de l'instruction publique. La carte magnétique en préparation comprend actuellement soixante-dix stations dans lesquelles on a mesuré les trois éléments : déclinaison, inclinaison et composante horizontale. Il reste encore à terminer dix ou quinze autres stations. Les points choisis s'étendent de Nice à Trente, des Alpes à Tunis, et comprennent la Corse, la Sardaigne et la Sicile. Ce nouveau travail se trouve ainsi rattaché aux déterminations magnétiques exécutées en Autriche et à celles qu'ont effectuées en France le R. P. Perry et M. Marié-Davy.

À la suite de cette communication, M. Buys-Ballot annonce que M. le Dr E. van Ryckevorsel a fait un travail analogue aux Indes Néerlandaises, où il a déterminé les trois éléments magnétiques en plus de cent stations, avec des instruments comparés à ceux de l'observatoire de Kew.

M. Hébert commence la lecture d'un travail de M. Piche, sur la réorganisation des commissions météorologiques départementales. Ce mémoire, touchant à des questions administratives, est renvoyé au conseil du bureau central météorologique, en même temps qu'un autre travail anonyme relatif à l'organisation du service météorologique dans les colonies françaises.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
Alfred ANGOT.

2e SÉANCE DU SOIR DU 24 AOÛT 1878 (PALAIS DU TROCADÉRO).

PRÉSIDENCES DE M. BÉRIGNY, PRÉSIDENT D'ÂGE, PUIS DE M. BUYS-BALLOT.

Sommaire : Nomination des présidents et vice-présidents. — Hervé-Mangon : Discours d'inauguration. — R. P. Denza : Services météorologiques en Italie; discussion sur cette communication. — Hoffmeyer : Influence de la pression dans l'Atlantique Nord sur les vents et le climat de l'Europe. — de Tastes, de Touchimbert, Hébert : Communications sur les mouvements généraux de l'atmosphère.

La séance est ouverte à 3 heures.

M. Hervé-Mangon, président du comité d'organisation, prie les membres du Congrès de prendre place et invite les délégués des divers ministères à s'asseoir sur l'estrade.

M. le D[r] Bérigny est désigné comme président d'âge, en attendant que le Congrès ait pu élire son bureau.

M. Bérigny donne la parole à M. Hervé-Mangon pour souhaiter la bienvenue aux membres du Congrès, au nom de la Société météorologique de France et du comité d'organisation.

M. Hervé-Mangon s'exprime en ces termes :

Messieurs,

Au moment où vous allez commencer vos travaux, je vous demande la permission de venir, au nom de la Société météorologique de France, qui a pris l'initiative de ce Congrès international, vous souhaiter la bienvenue et vous remercier du fond du cœur d'avoir répondu à notre invitation.

C'est la première fois que les météorologistes des autres nations et les météorologistes français se rencontrent à Paris. Mais je vous le dis tout de suite, et sans autres détours, nous désirons ardemment que cette première réunion ne soit pas la dernière. Nous vous le demandons, Messieurs les étrangers, et nous espérons que vous ne nous le refuserez pas.

Notre réunion d'aujourd'hui n'a pas de caractère scientifique officiel. Nous l'avons dit dans nos deux circulaires; mais je tiens à le dire ici de nouveau et je vous prie de le répéter. Cette réunion n'émettra aucun vote sur les questions réservées à l'arbitrage des conférences internationales officielles. Mais nos discussions amicales serviront, pour leur part, aux progrès de la science. C'est notre seul but, et ce sera la récompense de nos efforts.

Depuis la mémorable conférence de Bruxelles, en 1852, la France, malheureusement, est restée en dehors des conférences internationales de météorologie. Ce fâcheux résultat n'a pas eu d'autres causes que certaines difficultés individuelles et certains embarras administratifs que je ne peux pas rappeler ici, mais que chacun connaît plus ou moins.

Il serait malheureux que notre pays restât ainsi plus longtemps en arrière du merveilleux développement des études et des travaux météorologiques du reste du monde. Je ne le dis pas comme Français; je le dis comme savant, je le dis, Messieurs, au nom de la science elle-même. La position géographique de la France rend son concours nécessaire aux progrès des études générales de physique du globe. À l'Ouest, en effet, nous recevons les premiers, par nos côtes de l'Océan, l'impression des grands mouvements qui nous viennent de l'autre côté de l'Atlantique, de la patrie de Maury, et que nous annoncent à l'avance nos amis de la République des États-Unis de l'Amérique. Sentinelles vigilantes, c'est à nous qu'il appartient de dresser au passage le signalement des bourrasques qui abordent nos côtes, pour le transmettre sans retard à l'Europe entière. D'un autre côté, au Sud, la France, occupant en partie les deux rives de

la Méditerranée, se trouve également à l'avant-garde pour observer au passage et signaler au loin les perturbations atmosphériques qui naissent dans cet immense territoire de l'Afrique centrale, dont la science moderne éclaire petit à petit les mystères si longtemps impénétrables. Oui, Messieurs, la météorologie générale a besoin du concours de la France, et il faut que notre cher pays apporte aussi son tribut à l'étude de la physique du globe.

Le Gouvernement de la République française a compris, en effet, que le temps était grandement venu d'imprimer une nouvelle et vigoureuse impulsion aux travaux météorologiques dans notre pays. M. Bardoux, ministre de l'instruction publique, a réorganisé depuis peu le service de la météorologie française, en lui rendant son indépendance et sa liberté d'action. Le *Bureau central météorologique de France,* créé par décret du 14 juin de cette année, est organisé comme les établissements similaires des autres nations; il possède une existence indépendante et des ressources spéciales. Il est placé, comme vous le savez, sous la direction de notre savant confrère et ami, M. le professeur Mascart, assisté d'un conseil composé de savants et de délégués de chacun de nos départements ministériels. La modestie de nos honorables collègues de ce conseil ne me permet pas de proclamer ici tout le bien que je pense de cette institution. Mais je ne crains pas d'être démenti en disant que les pouvoirs publics de la France comprennent aujourd'hui mieux qu'autrefois la grandeur et l'intérêt pratique de la science; avant peu d'années, nous avons l'espoir fondé que nos deux magnifiques observatoires du Puy-de-Dôme et du Pic du Midi, ne seront plus isolés; d'autres établissements régionaux de premier et de second ordre seront organisés et formeront sur notre territoire, avec les stations particulières, un réseau complet véritablement digne de l'importance et de l'utilité de la science météorologique.

Vous avez vu, Messieurs, au cœur du palais du Champ de Mars, l'avenue des Nations, le rendez-vous de nos innombrables visiteurs. L'avenue des Nations n'est pas une œuvre individuelle; nul architecte, si grand que vous le supposiez, n'aurait su l'édifier; mais chaque peuple a fait sa part et a voulu y imprimer la trace de son génie national; c'est l'œuvre de l'association des peuples; voilà pourquoi l'avenue des Nations fait l'admiration de tous, artistes ou savants, ignorants ou lettrés; voilà pourquoi cette œuvre est la merveille des merveilles de l'Exposition.

Messieurs, l'avenue des Nations me fait toujours penser à la météorologie (on pense sans cesse à ce qu'on aime). Oui, la science météorologique est comme l'avenue des Nations : nul effort isolé ne saurait la constituer; nul peuple même, si puissant qu'il soit, ne saurait éclairer la complication des phénomènes en restant séparé des autres par ses frontières; il faut que chacun apporte à l'œuvre de tous sa part d'observations, sa part de découvertes, sa part de génie.

La physique du globe est, plus qu'aucune autre, une science internationale. Apprenons donc, Messieurs, en nous réunissant, à nous connaître mieux que par nos écrits; rivalisons d'ardeur et de zèle pour notre science, mais soyons unis pour la servir. C'est ainsi que nous apporterons chacun notre pierre à l'édifice magnifique de la météorologie générale. C'est le but de cette réunion. Je m'arrête donc pour ne pas retarder davantage vos utiles délibérations.

M. Bérigny annonce au Congrès que l'on va procéder à l'élection du bureau, et d'abord à l'élection des quatre présidents étrangers, ainsi qu'il a été décidé dans la réunion préparatoire du matin.

M. Renou propose au Congrès d'élire pour présidents :

MM. Buys-Ballot (Pays-Bas), Hoffmeyer (Danemark), le R. P. Denza (Italie) et M. Symons (Angleterre).

Cette proposition étant adoptée par acclamation, on procède à l'élection des quatre vice-présidents français.

M. Hoffmeyer propose d'élire comme vice-présidents :

MM. Hervé-Mangon, président de la Société météorologique de France; Renou, directeur de l'Observatoire du Parc Saint-Maur; Alluard, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, et le général de Nansouty, directeur de l'Observatoire du Pic du Midi.

La proposition de M. Hoffmeyer étant adoptée par acclamation, M. Hervé-Mangon demande au Congrès de voter des remerciements à M. le docteur Bérigny pour l'assistance qu'il a bien voulu donner. (Une salve d'applaudissements répond à la proposition de M. Hervé-Mangon.)

M. Buys-Ballot, prenant le fauteuil de la présidence, remercie les membres du Congrès de la distinction dont ils ont bien voulu l'honorer; il se réjouit beaucoup de voir la France prendre part au mouvement météorologique international. Sa coopération sera très utile, d'autant plus que ce pays dispose d'un nombre d'observations considérable.

En terminant, M. Buys-Ballot donne la parole au R. P. Denza pour une communication sur la **Réorganisation récente des services météorologiques en Italie** en un bureau météorologique central, et sur la correspondance des Alpes et des Apennins. (Voir à la suite des procès-verbaux, annexe n° 1.)

La météorologie rentrait d'abord, en Italie, dans les attributions de quatre ministères différents : ceux de l'agriculture, industrie et commerce, de la marine, de l'instruction publique et des travaux publics. Une pareille division était contraire aux intérêts de la science. Aussi le Gouvernement italien, cédant aux instances des météorologistes, a-t-il, dans le courant de 1877, réuni ces services épars en un bureau météorologique central relevant du ministère de l'instruction publique.

Quant à la correspondance météorologique des Alpes et Apennins, c'est une société particulière qui entretient à ses frais 90 stations météorologiques réparties dans toute l'Italie à des altitudes comprises entre le niveau de la mer et 2,600 mètres.

M. Buys-Ballot remercie le R. P. Denza de l'intéressante communication qu'il vient de faire et accorde la parole à M. Ragona, qui désire présenter quelques observations sur ce qui a été dit.

M. Ragona (Italie) insiste sur ce que son savant ami le R. P. Denza a parlé de la correspondance des Alpes et Apennins. Selon M. Ragona, cette réunion de stations privées ne doit pas exister dans un État où le Gouvernement possède un bureau central chargé des études météorologiques. En effet, si les stations sont bonnes, elles doivent se trouver dans le réseau officiel; dans le cas où leurs travaux seraient défectueux, il y aurait intérêt à les supprimer.

La correspondance des Alpes et Apennins, qui a pu rendre précédemment des services, doit disparaître devant l'institution d'un bureau météorologique.

Le R. P. Denza, comme membre du conseil du bureau central météorologique d'Italie, répond que jusqu'ici on a fixé le nombre des stations de premier et de deuxième ordre, que toutes les autres sont comprises dans le troisième. Parmi celles de la correspondance, il en a été choisi vingt à peu près; mais il est impossible de multiplier ce nombre d'une façon considérable.

La question de savoir si l'on devait laisser subsister la correspondance a été débattue dans le conseil météorologique et résolue affirmativement, et en effet cette association, fondée en 1865, a d'abord progressé lentement; mais depuis il en est autrement, et cette année on a dû établir dix-neuf stations, dont une sur un point culminant de l'Apennin. Le Gouvernement encourage par de petits secours cette extension du réseau, et on le conçoit en songeant qu'il trouve là un bon nombre d'observateurs volontaires qui veulent bien donner leur temps et souvent même faire des sacrifices pécuniaires.

M. Hoffmeyer (Danemark) demande la parole pour poser une question au R. P. Denza.

Dans les études sur les mouvements de l'atmosphère, le directeur de l'Institut danois a été obligé de renoncer à se servir des observations du vent en Italie, parce que ces dernières ne contenaient que la mention de vent *faible* ou *violent*. M. Hoffmeyer désirerait bien savoir à quoi tient cette irrégularité.

Le R. P. Denza convient que la notation de la force du vent en Italie a été négligée pendant longtemps dans les publications officielles; mais, dans les derniers fascicules parus, on indique la force du vent de 0 à 4. Du reste, le premier instrument qui sera distribué aux stations italiennes doit être un anémomètre enregistreur, ce qui permettra de connaître la vitesse du vent avec une grande précision.

M. Ragona (Italie) fait observer qu'il est difficile d'égaler les diverses valeurs de l'échelle arbitraire à des vitesses constantes du vent. Pour telle région, en effet, un vent peut être réputé *très fort*, s'il parcourt 30 kilomètres à l'heure,

tandis qu'il ne serait qu'*assez fort* pour une autre région où règnent d'ordinaire des vents violents.

M. Hercouët insiste sur la nécessité qu'il y aurait à adopter une échelle commune pour l'appréciation de la force du vent. Sur la copie de ses observations, il n'a pas moins de trois notations différentes, suivant qu'elles doivent être adressées au bureau central météorologique, à la Société météorologique ou à la marine, ce qui oblige à des calculs de réduction fort longs.

M. Hoffmeyer (Danemark) fait l'**Exposé de l'influence qu'exerce la répartition des pressions dans l'Atlantique Nord sur les vents et le climat de la partie septentrionale de l'Europe.**

Il rappelle d'abord que la direction du vent en un point n'est ni celle du gradient en ce point ni celle des isobares; elle est peu inclinée sur l'isobare et dirigée vers le centre de dépression. L'angle du vent avec l'isobare varie du reste avec la direction même du vent, comme l'ont montré W. Clément Ley en Angleterre et Elias Loomis aux États-Unis. M. Hoffmeyer l'a vérifié lui-même sur ses cartes simultanées; mais, en comparant les résultats obtenus jusqu'à lui, il n'est pas éloigné de croire que les différences sont dues au frottement inégal que le vent exerce à la surface de la terre, selon qu'il vient des continents ou de la mer. En pleine mer, par suite, tous les vents feraient à peu près le même angle avec la direction des isobares.

Passant à la seconde partie de son sujet, l'auteur établit qu'il y a généralement, pendant les mois d'hiver, un minimum principal de pression au-dessous de l'Islande sur le nord de l'Atlantique, et que ce minimum est accompagné de deux minima secondaires, l'un sur le détroit de Davis, l'autre entre l'Islande et la Norwége.

La direction des vents étant liée à la répartition des pressions, on comprend que le déplacement ou même la disparition de ces minima de pression amènent des changements dans le régime des vents et, par suite, dans le climat de l'Europe. (Voir à la suite des procès-verbaux, annexe n° 2.)

À la suite de cette communication, M. l'abbé Rougerie fait remarquer que dans les faits exposés par M. Hoffmeyer il trouve la confirmation de la relation qu'il a exposée le matin même entre la pression atmosphérique et le vent sur l'Atlantique Nord.

M. de Tastes développe sa **Théorie sur les mouvements généraux de l'atmosphère.** Celle-ci serait traversée par de grands courants aériens sur lesquels flotteraient les bourrasques comme les tourbillons dans nos rivières, les bourrasques se formant surtout aux points où deux courants de direction contraire se trouvent en contact. Ces grands courants couleraient entre les zones de haute pression barométrique, comme un fleuve entre ses berges, et le déplacement des zones de haute pression suffirait pour expliquer les changements de climat qu'on observe d'une année à l'autre. En même temps, si l'on admettait que le mouvement de la lune puisse déplacer ces zones de haute pression, on pourrait comprendre comment la lune exerce des influences en apparence

contraires, en différents pays, puisqu'elle n'agirait directement que sur la position des zones de haute pression, et que, cette position une fois donnée, le temps sur toute l'Europe en est une conséquence nécessaire. (Voir annexe n° 3.)

À la suite de cette lecture, M. de Pietra-Santa demande à M. de Tastes s'il ne croirait pas convenable de supprimer, avant l'impression, quelques phrases de son introduction ayant rapport à des discussions avec l'ancienne direction de la météorologie.

M. de Tastes dit qu'il tiendra compte de la remarque de M. de Pietra-Santa.

MM. de Touchimbert et Hébert déposent sur le bureau des communications sur les mouvements généraux de l'atmosphère. Le manque de temps empêche d'en donner lecture; mais les mémoires seront publiés avec les autres travaux présentés au Congrès. (Voir annexes nos 4 et 6.)

La séance est levée à 5 heures et demie.

Le Secrétaire

Léon TEISSERENC DE BORT.

RÉUNIONS DU 26 AOÛT 1878.

1° SÉANCE DU MATIN (PALAIS DES TUILERIES).

PRÉSIDENCE DE M. RAGONA (ITALIE).

SOMMAIRE. — Abbé ROUGERIE : Relation du vent et de la pression atmosphérique. — HERMARY : Baromètre absolu. — VON BAUMHAUER : Météorographe enregistreur; H. HILDEBRANDSSON et VAUSSENAT : Remarques sur le même sujet. — ZENGER : Application de la photohéliographie à la prédiction des orages; périodicité des grandes tempêtes. — COUSTÉ, HOFFMEYER, BUYS-BALLOT : Relations du vent avec la pression atmosphérique. — RAGONA : Évaporomètre enregistreur. — LOUVET : Nouvel évaporomètre. — ALEXANDRE : Mesure de l'évaporation; R. P. DENZA, RENOU, H. MANGON : Réflexions sur le même sujet.

La séance est ouverte à 9 heures un quart. L'assemblée prie M. RAGONA de vouloir bien présider cette réunion.

Le procès-verbal de la séance de samedi matin est lu et adopté.

M. l'abbé ROUGERIE présente et fait fonctionner l'appareil de démonstration dont il a parlé dans sa communication de samedi matin, et qui est destiné à vérifier sa théorie sur la relation du vent et de la pression atmosphérique moyenne en un point de l'Atlantique Nord.

M. HERMARY présente le **Baromètre absolu** qu'il a imaginé en collaboration avec M. Hans, chef d'escadron d'artillerie, et qui est exposé au pavillon météorologique, dans le jardin du Trocadéro. Il s'exprime en ces termes :

« La théorie de ce baromètre n'est pas du domaine des questions que le Congrès doit examiner; je me bornerai donc à l'indiquer très sommairement. En voici, d'abord, le principe : l'observation simultanée d'un thermomètre à air et d'un thermomètre ordinaire peut conduire à la détermination de la pression atmosphérique.

« Le calcul est habituellement nécessaire pour cette détermination; mais nous y avons suppléé par une construction géométrique tellement simple que l'on peut en confier l'exécution à n'importe quel observateur; elle se réduit, en effet, à ces trois opérations élémentaires :

« 1° Faire glisser un curseur jusqu'à ce que l'aiguille qu'il porte affleure l'extrémité de la colonne du thermomètre ordinaire;

« 2° Faire glisser un autre curseur jusqu'à ce qu'un fil qui se déplace en même temps vienne affleurer l'extrémité de la colonne liquide du thermomètre à air;

« 3° Lire la hauteur barométrique en regard d'un fil qui tombe verticalement.

« D'après les observations que j'ai faites, je crois pouvoir dire que, par la régularité de sa marche et par l'instantanéité de ses indications, le baromètre absolu est supérieur à tous les autres baromètres portatifs. C'est à ce titre que je vous le recommande pour les observations dans les stations d'une importance secondaire. Il est bien entendu que le baromètre à mercure doit toujours être employé, à l'exclusion de tout autre, comme instrument de contrôle et pour les observations principales.

« Je vous présente aussi un modèle nouveau qui diffère du précédent par un détail : le fil en regard duquel se fait la lecture, au lieu de tomber verticalement, passe par un point fixe; par suite, l'échelle barométrique est circulaire. Ce modèle a été imaginé afin de rendre possibles les observations à bord des navires; mais il offre cette particularité que les divisions de l'échelle sont à peu près égales, de sorte que l'on a pu mettre une graduation mobile en regard de la graduation ordinaire qui est fixe.

« La graduation mobile peut être placée de manière à donner pour chaque lieu (entre certaines limites d'altitude) la hauteur barométrique ramenée *à peu près* à ce qu'elle serait au niveau de la mer; en un mot, on a rendu possible le système de réglage usité par les constructeurs d'anéroïdes.

« Je ne suis pas partisan de cette méthode, qui est une cause constante d'erreurs pour beaucoup de personnes; si j'indique ici le moyen de l'appliquer, c'est uniquement pour le cas où l'on croirait devoir se conformer à un usage assez répandu.

« Le problème du réglage ainsi posé comporte diverses solutions géométriques que je viens d'exposer à l'Association française pour l'avancement des sciences (section de physique). J'ai donné dans la même séance la théorie complète de l'instrument.

« M. Hercouët me signale un accident survenu dans un baromètre absolu qui lui a été apporté à Saint-Malo par un de ses amis : la principale colonne liquide du thermomètre à air se trouve divisée, probablement par l'effet du transport. La marche de l'instrument est néanmoins régulière, mais les indications sont trop faibles.

« L'accident est facile à réparer. Les deux colonnes liquides du thermomètre à air (acide sulfurique et huile) se trouvant dans des tubes en U dirigés dans le même sens, on peut les soumettre à un mouvement de fronde rapide qui rétablira certainement la continuité; je dois même dire que, sans ce procédé, il serait difficile de mener à bonne fin la construction de ce thermomètre.

« Lorsque l'instrument est monté, la masse du système fait que le mouvement de fronde exige une grande force : on peut l'éviter en chauffant rapidement le réservoir à air; si la colonne séparée est courte, elle disparaîtra facilement. On doit ensuite laisser reposer l'instrument, les liquides en bas; pour les transports, on doit le placer autant que possible dans la même position. »

M. von Baumhauer (Pays-Bas) décrit le **Météorographe universel enregistreur à distance**, construit sous sa direction par M. Olland, et qui fonctionne à Utrecht et à l'Exposition universelle. Les indications de chaque ins-

trument: baromètre, thermomètre sec et mouillé, etc., sont transmises à un levier, qui met en mouvement une aiguille, ainsi que cela a lieu dans le baromètre anéroïde, le thermomètre métallique, etc. Les aiguilles des différents instruments, bien qu'entièrement indépendantes l'une de l'autre, tournent autour d'un axe commun, de sorte que leurs indications s'opèrent sur un même limbe circulaire. Le mouvement des aiguilles est calculé de manière que chacune, dans ses plus grands écarts, ne parcoure qu'une portion déterminée du limbe et ne puisse jamais, par conséquent, en rencontrer une autre. Si l'on veut, par exemple, enregistrer les indications de quatre instruments, un quart de cercle est disponible pour les déplacements de chaque aiguille. Chacun de ces quarts de cercle ayant reçu une division appropriée à l'instrument correspondant, on aura un cadran sur lequel pourra se faire la *lecture directe* de quatre instruments. Il ne s'agit plus que de transmettre cette lecture, par voie électrique, à une station éloignée, où elle devra s'inscrire automatiquement. À cet effet, le limbe divisé, en métal inoxydable (platine ou laiton doré), est construit de façon que les divisions s'y présentent en relief. À des intervalles réguliers, d'une heure ou d'un quart d'heure, suivant le désir du météorologiste, une aiguille, qui tourne autour de l'axe commun et dont la pointe en platine appuie par ressort sur les reliefs du limbe divisé, parcourt rapidement le cercle entier. Si maintenant cette aiguille et le limbe métallique font partie d'un circuit électrique, le circuit sera fermé chaque fois que le ressort touchera les divisions en relief, et, en outre, chaque fois qu'il touchera les extrémités, également métalliques, des quatre aiguilles des instruments, qui, pour éviter tout entraînement, sont pressées légèrement sur le limbe par un anneau au moment où doit se faire la lecture électrique.

Telle est la disposition de l'observatoire solitaire, qui communique par un seul fil télégraphique avec l'observatoire central, d'où part le courant électrique qui règle à la fois la rotation périodique de l'aiguille à ressort et l'immobilisation momentanée des quatre aiguilles indicatrices. À l'observatoire central s'opère, isochroniquement avec la rotation de l'aiguille, la rotation d'un cylindre couvert d'un papier enduit de noir de fumée; sur ce papier, un style, commandé par un électro-aimant, inscrit par des points blancs les divisions des échelles et par de courtes lignes les indications des aiguilles des instruments. Après chaque lecture, le cylindre, ou bien le style, s'abaisse d'un demi-millimètre, pour être prêt à servir à la lecture suivante.

Bien que l'isochronisme de la rotation de l'aiguille à l'observatoire solitaire et de la rotation du cylindre à l'observatoire central ne soit pas une condition de rigueur, attendu que les divisions des échelles s'inscrivent en même temps que les positions des aiguilles, M. Olland a pourtant très ingénieusement obtenu cet isochronisme, comme on peut aisément le reconnaître en constatant, sur l'appareil exposé, que les indications des lectures successives sont placées tout à fait verticalement les unes au-dessous des autres.

À la suite de cette communication, M. Buys-Ballot déclare qu'il est très satisfait de cet instrument, qui permet, en outre, d'obtenir des indications gravées directement sur une feuille de cuivre, de sorte qu'on peut en obtenir sur papier autant d'épreuves que l'on désire.

M. Angot donne lecture du passage suivant d'une lettre de M. H. Hildebrandsson, directeur de l'observatoire d'Upsal, qui n'a pu assister au Congrès, et revendique pour feu le professeur Theorell l'invention des enregistreurs à distance :

Je saisis l'occasion pour inviter les météorologistes réunis à Paris à visiter le météorographe imprimeur du système de feu Theorell, qui se trouve dans la partie suédoise de l'Exposition universelle. C'est la solution la plus complète, ce me semble, du problème d'enregistrer les données des instruments météorologiques. En effet, les différents instruments ne sont liés à l'appareil imprimeur que par des fils télégraphiques, en sorte qu'on est mis en état, au moyen de cet appareil, d'imprimer en types ordinaires, chaque quart d'heure, à Paris, les indications des instruments situés à une distance arbitraire, au sommet du Puy-de-Dôme par exemple. Du reste cet appareil, en apparence assez compliqué, est un instrument *parfaitement pratique.*

En effet, un tel instrument a fonctionné ici à notre observatoire (Upsal) depuis 1874, et l'ancien météorographe du même auteur depuis 1868. Un troisième, tout à fait semblable à celui de l'Exposition, à quelques petites modifications près, est établi sur ma recommandation à l'Institut météorologique impérial à Vienne et a déjà fonctionné plus de trois ans à la plus grande satisfaction du directeur de cet important établissement. Il me semble que cet instrument pourrait être de la plus grande utilité, surtout quand il s'agit d'étudier la marche des instruments sur un sommet de montagne. Il suffit alors de placer sur le sommet un petit bâtiment pour les instruments météorologiques et de mener les fils conducteurs à la ville la plus prochaine, où l'on placerait le météorographe imprimeur dans une chambre quelconque. Le prix est, par erreur, mis trop haut dans le catalogue de l'Exposition. Le constructeur, M. P. M. Sorensen, fournirait de tels appareils, pris à Stockholm, pour 12,000 couronnes suédoises (16,667 francs).

M. Vaussenat fait une autre réclamation de priorité à propos de la communication de M. von Baumhauer. En 1873, un instrument enregistreur a transmis automatiquement à la base du Pic du Midi les observations du sommet.

M. le professeur Zenger fait une communication sur l'**Application de la photohéliographie à la prédiction des orages.** Si l'on photographie de temps en temps le soleil et la partie voisine du ciel au moyen d'un objectif à paysage à court foyer (aplanat ou triplet), on trouve sur quelques épreuves le soleil entouré de zones d'absorption lumineuse en forme de spirales, de paraboles, d'ellipses, de bandes, etc. Cette apparence ne se présente que si une grande perturbation atmosphérique est imminente, et l'on a pu obtenir ainsi, six ou huit heures d'avance, l'annonce de ces perturbations.

L'auteur indique ensuite les relations qui semblent exister, suivant lui, entre la durée de la rotation du soleil et la période de certains orages généraux, qui s'étendent en même temps sur une grande étendue de pays, et termine par les considérations suivantes :

« On sait déjà depuis longtemps qu'il y a une périodicité marquée dans le nombre des orages appelés *ouragans* et *typhons* de la mer de Chine et des Antilles. Les observations de E. Redfield, Poëy, de Reid, Moreau de Joannés, Évans, ont développé les lois de la formation et de la direction de ces orages.

« Il est vrai que la formation des vents alizés et des orages tropiques nous

fournit plus de régularité et plus de simplicité pour l'étude que ne nous en montrent les orages des latitudes plus élevées; mais, s'il y a une cause pour ainsi dire cosmique de la formation des orages et de leur nombre, il faut qu'elle se manifeste, quoique modifiée par les vastes continents, dans les orages qui se produisent à un lieu quelconque, de l'équateur aux pôles terrestres.

« C'est pourquoi j'ai dressé la série des orages observés en deux localités assez différentes au point de vue géographique et orographique, dans la latitude à peu près moyenne de 48° et 50° Nord et de même longitude à peu près, Prague et Vienne.

« La série des observations de la force du vent à Prague contient les résultats de dix années, de 1840 à 1849, par M. Kreil; celle de Vienne, les observations plus récentes, de 1872 à 1875.

« Prague, au milieu de la Bohême, entourée de montagnes de tous côtés, nous fournit une localité assez abritée, tandis que Vienne est au pied des Alpes, à l'exposition du vent et dans une plaine tout à fait ouverte d'un côté.

« Les tableaux que j'ai dressés contiennent, à côté du jour et de l'heure où les orages éclataient, les multiples de semi-rotations solaires, soit de 12.586 jours terrestres. On voit que, précisément, 29 semi-rotations valent 364.994 jours, ou très près d'un an terrestre.

« En divisant l'an en 29 époques de semi-rotations solaires, on voit que les jours des orages sont très près de ces périodes dodécades. Ainsi, sur 100 orages, on en trouve 47 entre zéro et 2 jours avant ou après l'époque dodécade, 32 entre 3 et 4 jours, et seulement 21 entre 5 et 6 jours, ou 1/4 de la rotation solaire.

« Ces nombres font penser à une cause cosmique d'origine solaire des orages, même dans nos parages. Il y a une périodicité de la formation des orages coïncidant de très près avec la période d'une semi-rotation solaire.

« 1° Il y a deux centres de perturbations dans l'atmosphère solaire qui produisent leur effet maximum sur les parties de l'atmosphère terrestre les plus rapprochées de l'équateur, vers la latitude de 20° Nord, qui est la plus rapprochée du soleil;

« 2° Les deux centres sont à peu près à 180 degrés distants l'un de l'autre en longitude héliographique, produisant la période dodécade des orages terrestres;

« 3° À cause d'un rayonnement plus fort de ces centres de perturbations solaires, soit de chaleur, soit d'émission d'électricité, il se forme deux centres semblables à la surface terrestre. Or les centres des ouragans des Antilles et des typhons de la mer des Indes se trouvent en 20° Nord latitude et en longitude 65° Ouest de Ferro, et 115 à 145° (soit en moyenne de 130 degrés) Est de Ferro; c'est ce qui fait de 180 à 200 degrés de différence en longitude.

« On peut expliquer la formation des orages soit tropiques ou dans nos parages, en supposant qu'il y a deux centres de perturbations solaires induisant des perturbations similaires dans notre atmosphère. Cette influence perturbatrice atteint sa valeur maximum absolue quand les centres, après une demi-rotation du soleil, se trouvent au milieu du disque et près du zénith, dans la

zone tropique Nord. Dans nos parages, nous trouvons un maximum relatif quand le soleil atteint sa plus grande hauteur sur l'horizon. En effet, la plus grande densité de dodécades orageuses se trouve en juin, juillet et août.

« D'ailleurs on voit la formation de groupes consécutifs de dodécades orageuses, qui s'expliquent par la non-intermittence de l'activité de deux centres sur le soleil, comme en 1844 et en 1872, tandis que, dans les années de peu d'orages, il n'y a pas trace de ces groupes, ce qui s'explique de même par l'intermittence de l'activité de ces deux centres dans les années moins orageuses.

« Les orages ont une tendance à prolonger leur durée de deux jusqu'à neuf jours même, période pendant laquelle le centre orageux du soleil passe à peu près du limbe Est au limbe Ouest. Les différences moyennes entre le temps de deux culminations consécutives de perturbations solaires et le temps où ont éclaté les orages sont très petites, en moyenne de — $0^{j},09$ pour la série de dix années, de 1840 à 1849, et de $+0^{j},40$ dans la série de cinq ans, de 1872 à 1875.

« De plus, c'est entre 11 heures du matin et 3 heures du soir, lorsque le soleil atteint sa plus grande hauteur au-dessus de l'horizon, que naissent la plupart des orages.

« À côté de cette évidence, il y a un autre fait aussi important et démontrant l'origine cosmique des orages : ce sont les résultats des observations magnétiques faites à Prague, et le *Recueil des observations d'aurores boréales*. On voit, en effet, qu'il y a des aurores ou des perturbations magnétiques simultanées ou précédant d'un jour ou d'un demi-jour l'arrivée des orages.

« Ces observations semblent indiquer une émanation solaire comme cause vraisemblable des orages et des grandes perturbations dans l'atmosphère terrestre, donnant simultanément naissance, dans nos parages et dans les zones polaires, aux aurores boréales, tandis qu'elles se manifestent dans toute leur puissance sur les tropiques, répandant, pendant l'orage, sur le ciel et la terre, le feu électrique d'origine solaire. »

M. Cousté présente quelques remarques à propos de la communication faite par M. Hoffmeyer à la séance de samedi, sur la relation qui existe entre la direction du vent et celle des isobares. La loi de rotation des vents, bien connue maintenant sous le nom de loi de Buys-Ballot, résulte de ce que le vent doit sa direction non pas seulement à la répartition de la pression atmosphérique, mais encore à l'influence de la rotation de la terre.

M. Hoffmeyer (Danemark) répond que, dans sa précédente communication, il a énuméré les causes qui concourent à déterminer la direction du vent. Ces causes, au nombre de quatre, et non de deux seulement comme tendrait à le faire croire la remarque de M. Cousté, sont : la répartition de la pression, l'influence de la rotation de la terre, la force centrifuge et le frottement de l'air à la surface du globe.

M. Buys-Ballot (Pays-Bas) remercie M. Cousté d'avoir rappelé son nom,

et rappelle dans quelles circonstances il a établi, après les travaux d'Espy, de Redfield, de Reid et de Dove, la loi de la direction des vents. Il a eu à généraliser les travaux de ses prédécesseurs et à prouver que la loi était vraie dans les deux hémisphères et autour des centres de haute comme de basse pression atmosphérique.

M. Ragona (Italie) décrit un **Évaporomètre enregistreur** qu'il a imaginé et qui fonctionne à Modène. Le bassin d'évaporation, équilibré pour un poids déterminé, s'élève à mesure que son poids diminue par suite de l'évaporation. Il entraîne avec lui une pointe qui se meut devant un cylindre vertical animé d'un mouvement de rotation, mais sans le toucher. Tous les quarts d'heure un marteau, actionné par un mouvement d'horlogerie, vient appuyer sur la pointe et lui fait marquer sur le cylindre une trace dont la hauteur indique celle du bassin d'évaporation et, par suite, la perte de poids que celui-ci a subie.

L'auteur montre des courbes obtenues avec cet instrument et indique quelques précautions qu'il est indispensable d'employer pour son usage.

M. Louvet, pharmacien de la marine, fait la communication suivante, relative à un **Nouvel évaporomètre** :

« En observant dans une chambre toujours largement ouverte un évaporomètre du système Piche, concurremment, d'une part, avec un verre cylindrique garni d'eau et gradué en millimètres, d'autre part, avec un verre garni de terre végétale calcinée, assez fortement tassée, alternativement arrosée d'eau distillée et pesée au bout d'un certain temps, en ayant soin que la surface ne se desséchât jamais complètement, j'ai constaté, dans l'intervalle de quinze mois d'expériences, que l'évaporomètre Piche donnait une perte d'eau quatre fois plus forte, en moyenne, que le premier verre et deux fois et demie plus forte que le deuxième verre. Encore les rondelles de papier étaient-elles très épaisses et n'étaient-elles pas renouvelées tous les jours, sans quoi la différence eût été notablement plus grande. Ce genre d'observations m'a conduit à penser que les atmidomètres donneraient beaucoup mieux la mesure de ce qui se passe à la surface du sol, si l'obturateur perméable était d'une substance se rapprochant le plus de la composition et de la texture de celui-ci. Je ne suis pas arrivé très facilement à fabriquer des disques et des baguettes de terre cuite réunissant la double condition de la solidité et de la perméabilité voulues. Cependant, j'ai fini par atteindre une formule qui me paraît y satisfaire au moins de très près, c'est-à-dire au moyen de laquelle on obtient des cylindres de terre très cuite et poreuse à travers laquelle l'eau s'évapore très activement de la même manière qu'à travers la terre végétale nue dont j'ai parlé ci-dessus : on prend 10 parties d'argile desséchée, 2 parties de chaux vive, 1 partie de sable fin et 1 partie d'un caillou quartzeux ou pegmatite en voie de désagrégation. On pulvérise très finement, on passe au tamis de soie et on mélange le tout avec 7 parties d'eau distillée. La pâte est abandonnée à elle-même pendant une dizaine de jours dans un endroit suffisamment chaud. Au bout de ce temps, on ajoute de l'eau distillée, s'il est nécessaire, jusqu'à ce que le poids soit

revenu entre 18,5 et 19. On repétrit la pâte et on la presse fortement dans des tubes de verre du diamètre voulu; puis, les baguettes de terre sont poussées doucement hors de ceux-ci, abandonnées pendant quelques heures à un commencement de dessiccation et enfin soumises, dans un creuset, à la plus forte cuisson que l'on puisse réaliser avec un grand fourneau à bassine des laboratoires.

« On sait, d'un autre côté, que les évaporomètres dont on se sert ordinairement ne sont pas tous exactement gradués en millimètres et fractions; les plus soignés d'entre eux ne donnent que le centième de millimètre; les rondelles de papier qui les ferment à leur orifice inférieur doivent être renouvelées tous les jours, ou alors elles sont sujettes à se déformer et à s'obstruer rapidement. Les indications de tels instruments dépendent beaucoup trop de l'épaisseur de la couche perméable et sont, en général, trop fortes, surtout avec des rondelles renouvelées qui peuvent laisser volatiliser une hauteur d'eau quatre à cinq fois supérieure à ce qui se passe à la surface d'une grande étendue d'eau. Enfin, la disposition verticale de haut en bas est juste l'inverse du sens dans lequel est remplacée l'eau évaporée à la surface du sol, par exemple, et j'ai constaté que cette disposition favorise encore une perte un peu plus forte.

« Je pense qu'on serait plus près de la vérité, au point de vue de la météorologie agricole, en donnant à l'atmidomètre une forme dans le genre de la suivante : un tube en verre parfaitement calibré et gradué à la partie supérieure est ensuite évasé en ampoule ovoïde à deux tubulures latérales. Au sommet du tube est un bouchon à l'émeri, entouré d'une bague en caoutchouc, pour la fermeture hermétique à volonté de la partie supérieure, fermeture qui s'arrête à quelques millimètres au-dessus de la graduation. La partie calibrée du tube de verre a un diamètre intérieur de 6 millimètres et une hauteur de 353 millimètres et demi, ce qui donne très approximativement un volume de 11 centimètres cubes. Le susdit volume est divisé en 440 parties égales par des traits nets et parfaitement équidistants.

« De vingt en vingt divisions sont des traits un peu plus longs, vis-à-vis desquels on a gravé successivement, et sans autre indication, de haut en bas, les chiffres 1, 2, 3, etc. jusqu'à 22. Chacune de ces 22 grandes divisions représente donc un demi-centimètre cube, et chacune des 20 petites subdivisions 1/40 de centimètre cube; on voit qu'avec la surface d'évaporation de 50 centimètres carrés, qui est offerte, une subdivision représente 1/200 de millimètre. Les deux tubulures latérales de l'ampoule ovoïde sont parfaitement dans le prolongement l'une de l'autre; leur diamètre intérieur est de 20 millimètres et leur longueur ne dépasse pas 24 ou 25 millimètres. On y introduit un petit tube de verre garni de caoutchouc, de manière à pouvoir y entrer à frottement de chaque côté et à laisser libre une ouverture du diamètre de 16 millimètres. Une baguette de terre cuite est garnie de caoutchouc à une de ses extrémités et engagée dans chacun de ces petits tubes, qui ne sont mis en place qu'après cette opération. La longueur en millimètres dont on fait ressortir les baguettes de chaque côté est calculée d'après leur diamètre avec la formule :

$$2\pi rl + \pi r^2 = 2{,}500.$$

« La partie inférieure du tube ampoulé s'engage au moyen d'un caoutchouc dans le canal un peu large d'une sorte d'entonnoir à robinet en verre doublé de laiton, qui est fermé à sa base, sauf un petit orifice susceptible d'être hermétiquement bouché. Lorsque l'appareil est monté, l'entonnoir se trouve renversé et forme pied.

« La raison d'être de ce récipient est facile à comprendre, à cause de la grande sensibilité qui est donnée à l'appareil, au point qu'une évaporation nycthémérale de 4 millimètres, par exemple, peut être suivie de deux minutes en deux minutes; la portion graduée du tube ne peut fonctionner que pour $2^{mm},2$ d'évaporation. Mais lorsque l'eau sera descendue à la division 22, il suffira de retourner l'appareil, d'ouvrir le robinet, de le refermer et de mettre l'appareil en place pour que le tube soit rechargé. Cette manœuvre m'a paru plus sûre et plus expéditive que le remplacement de l'eau par l'enlèvement du bouchon.

« Comme tout évaporomètre hermétiquement clos à l'extrémité supérieure, le modèle que je présente comporte la correction de la vapeur qui vient emplir l'espace laissé libre par la disparition de l'eau. Entre les températures de 20 et 30 degrés, il y a à retrancher un demi-centième de millimètre par millimètre d'eau évaporée; entre les températures de 30 et 40 degrés, la correction soustractive est de 1/100 de millimètre par millimètre.

« En observant avec cet appareil depuis six mois (février à août) dans la chambre toujours ouverte dont j'ai parlé, j'ai trouvé comme moyenne nycthémérale $1^{mm},36$, tandis qu'un évaporomètre à baguette de terre verticale donnait $1^{mm},43$; un évaporomètre système Piche, $2^{mm},92$; le verre plein d'eau, $0^{mm},79$; le verre garni de terre végétale, $1^{mm},15$. L'évaporation dehors pendant la même période ayant été, en moyenne, de $1^{mm},97$ avec une baguette de terre cuite disposée verticalement. On voit donc que c'est la terre cuite disposée horizontalement qui a donné le résultat le plus rapproché de l'évaporation à la surface du sol, laquelle paraît être elle-même environ une fois et demie l'évaporation à la surface d'une masse liquide, du moins dans un vase étroit.

« On arriverait sans doute à un résultat plus satisfaisant encore en donnant à l'atmidomètre à double baguette de terre une autre forme, de manière que l'eau arrivât de bas en haut aux cylindres poreux. Je n'ai pas encore eu le temps d'expérimenter ce dernier dispositif, mais il est facile de voir que ce serait le plus rationnel, et c'est, en définitive, celui que je me proposais de soumettre au jugement de MM. les membres de ce Congrès. »

M. Angot dépose sur le bureau un mémoire de M. Alexandre, ingénieur des ponts et chaussées, dans lequel l'auteur décrit les méthodes qu'il emploie pour mesurer l'évaporation. Il se sert de bassins à grande surface, dans lesquels il mesure les variations de niveau au moyen d'un flotteur placé dans un vase latéral, dont on établit à volonté la communication avec le bassin principal. (V. annexe nº 20.)

À la suite de ces communications, le R. P. Denza, MM. Renou et Hervé-Mangon insistent sur ce fait que les mesures d'évaporation faites avec la plupart des appareils en usage n'ont aucune signification pratique. Il faudrait se placer dans des conditions analogues à celles que l'on rencontre dans la

nature, et ne pas se contenter d'instruments dont les indications ne se rapportent à aucun phénomène naturel.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
ALFRED ANGOT.

2° SÉANCE DU SOIR DU 26 AOÛT 1878 (PALAIS DU TROCADÉRO).

PRÉSIDENCE DU R. P. DENZA (ITALIE).

SOMMAIRE. — BESNOU : Construction du baromètre. — RAULIN : Répartition trimestrielle de la pluie en France. — PRESTEL : Brouillards secs. — MONTANI : Périodes anomales. — REYMONET : Service télégraphique des avertissements à Marseille. — RAGONA : Recherches anémométriques. — B^{on} DE PAGES : Chronothermomètre et météorographe de Philippe de Girard. — MONTIGNY : Recherches sur la scintillation des étoiles. — H. MANGON : Impression du compte rendu des séances du Congrès. — HOFFMEYER : Formation des centres de dépression au-dessus de la mer. — HÉBERT : Observation des orages et confection des cartes qui les représentent. — PICHE, THIRIAT, abbé DAVID, BILLWILLER : Cartes d'orages.

La séance est ouverte à 3 heures. Le procès-verbal de la séance du samedi soir est lu et adopté.

M. ANGOT dépose sur le bureau un certain nombre de travaux qui ont été adressés par des personnes empêchées d'assister au Congrès, et les résume en quelques mots.

Ce sont :

1° Un travail de M. BESNOU sur la nécessité de n'employer, dans les baromètres, que du mercure absolument pur. De l'étain ou du plomb, métaux qui peuvent se rencontrer fréquemment dans le mercure du commerce, fausseraient les indications de l'instrument en changeant la densité du mercure. L'auteur indique le moyen de reconnaître ces impuretés et de préparer du mercure absolument pur.

2° La note suivante de M. RAULIN sur **la Répartition trimestrielle de la pluie en France** (Question XXI du programme).

Mes études pluviométriques sur le S. O. de la France m'ont amené à reconnaître que ce qui est le plus important et le plus caractéristique de la chute de la pluie à la surface d'une contrée, ce n'est pas la quantité absolue d'eau qui tombe sur le sol pendant une année, mais sa répartition entre les saisons et surtout pendant chacun des mois. En effet, alors que les quantités annuelles se trouvent être les mêmes, il y a, sous le rapport des répartitions mensuelles et trimestrielles, opposition complète entre la région méditerranéenne et l'Europe médiane et septentrionale, et aussi tout le versant sibérien de l'Asie. Dans cette vaste zone qui s'étend presque des côtes occidentales de France et de Scandinavie jusqu'au Kamtschatka, les pluies d'été ont une prépondérance d'au-

tant plus marquée qu'on avance davantage, tandis que, dans la région méditerranéenne, il y a absence presque complète de pluie pendant la même saison.

Au point de vue de la *répartition trimestrielle de la pluie* dans les saisons météorologiques, en tenant compte des diverses modifications que présente la France tant septentrionale que méridionale, on peut y reconnaître l'existence de sept régimes pluviaux bien distincts :

I Hiver le moins et été le plus pluvieux (Moulins).
II Série ascendante de l'hiver à l'automne (Lyon).
III Hiver et été secs, automne très pluvieux (Mende).
IV Été très sec, automne très pluvieux (Montpellier).
V Printemps et été un peu secs, automne pluvieux (Limoges).
VI Printemps très pluvieux et été sec (Toulouse).
VII Hiver et été pluvieux (Bar-le-Duc).

Ces divers régimes sont indiqués sur la carte de France que j'ai dressée d'après les observations faites dans plus de neuf cents stations et que la commission météorologique de la Gironde a envoyée à l'exposition météorologique du Trocadéro. Sur cette carte coloriée, les noms des stations sont en caractères d'autant plus importants que le nombre des années d'observations est plus grand.

Ainsi que je le disais, des moyennes annuelles à peu près semblables peuvent être fournies par des régimes bien différents; ainsi, à partir de Lyon, les pays qui bordent le Rhône, la Méditerranée et l'Aude jusqu'à Carcassonne, offrent des stations qui, peu différentes pour la quantité, présentent de grandes différences au point de vue de la distribution semi-annuelle, trimestrielle ou mensuelle, puisqu'on traverse cinq des sept régimes énumérés précédemment, ainsi qu'on peut le voir :

I. L'Arbresle.	II. Loire.	III. St-Hippolyte-de-Caton.	IV. Montpellier.	VI. Carcassonne.
728,9	744,5	894,7	866,9	739,0

Le régime I, le plus septentrional, de la frontière de Belgique à Valenciennes, et du département de Seine-et-Marne, s'avance à l'Ouest jusque non loin d'Angers, et au Sud par le département du Cher, à Moulins, à Clermont-Ferrand et à Guéret. Il occupe l'Alsace entière.

Le régime II commence à Saint-Quentin et forme une zone qui entoure le précédent jusqu'au Mans. De Paris, par Montargis, il rejoint la vallée de la Loire, qu'il occupe jusqu'à Angers. De la trouée de Belfort il comprend la Bresse et le N. O. des Alpes; il s'étend de Mâcon et de Valence jusqu'au Puy. Une zone qui entoure au Sud le régime I comprend Chalon-sur-Saône, Roanne, Saint-Flour, Brive, Ussel et Châteauroux.

Le régime III se montre aussi dans la Bresse et du Mans à Angers. Mais il est surtout étendu au Sud du précédent; il occupe les deux tiers méridionaux des Alpes; en s'avancant au delà de la vallée du Rhône, par Valence et Privas, il va former à l'Ouest des Cévennes, à Mende, une bande de largeur inégale dont les ramifications s'avancent au N. N. E. par le Puy, jusque non loin de Mâcon, et au Sud vers Narbonne et Perpignan, jusqu'au pied des Albères. Une nouvelle ramification plus occidentale atteint Figeac, où elle se rattache à une grande bande qui semble commencer à Saint-Léonard, près de Limoges, et qui se poursuit par Périgueux, Agen et Mont-de-Marsan jusqu'à la Bidassoa et au Pic du Midi de Pau.

Le régime IV, exclusif au Midi de la France, commence à l'Ouest de Privas, suit la pente S. E. des Cévennes jusqu'à Montpellier, d'où il s'étale sur le littoral de la Méditerranée, vers l'Ouest jusqu'à l'embouchure de l'Aude, et vers l'Est jusqu'au delà de Nice, sur la côte de Gênes. Il comprend aussi les parties basses de la Creuse.

Le régime V succède vers l'Ouest aux régimes II et III; à partir de Dunkerque, il forme une bande côtière qui va en s'élargissant graduellement de manière à dépasser Évreux, Alençon et Angers en envahissant complètement la Bretagne, ensuite il occupe une vaste surface triangulaire s'étendant de Guéret au golfe de Gascogne, entre Noirmoutier et Bayonne. De la Belgique, il remonte la vallée de la Meuse et, par la Côte-d'Or, il va atteindre le Morvan. Il occupe aussi la chaîne des Vosges.

Le régime VI, exclusif au S. O. de la France, occupe une vaste surface comprise entre les deux bandes du régime III; celle de Mende à Perpignan à l'Est, et celle d'Eymoutiers à la Bidassoa au N. O. Cette surface s'étend de Rodez, Cahors et Sos jusqu'aux sommités des Pyrénées, du Pic du Midi de Pau au Canigou.

Le régime VII, exclusif au N. E. de la France, se montre en points isolés: Neufchâteau, Bourbonne, Chaumont; puis il forme une zone continue de Verdun et Châlons à Bar-le-Duc et Tonnerre; enfin d'autres points isolés au N. O.: Landrecies, Laon et Dieppe.

3° Un travail de M. Francesco Scalzi (en italien), sur les relations observées à Rome en 1877 entre les divers éléments météorologiques et la marche des fièvres intermittentes, pernicieuses et inflammatoires.

4° Un mémoire de M. Prestel (en allemand), sur les **Brouillards secs** observés à Emden.

Dans cette notice, M. Prestel donne une carte qui indique l'aire occupée par les brouillards secs de mai 1848, mai 1857 et juin 1863; une carte spéciale est consacrée au brouillard du 23 au 24 mai 1860, qui a embrassé un espace presque carré, dont les angles sont à Eutin (près de la mer Baltique), Groningue, Francfort-sur-le-Mein et Dresde. M. Prestel fait l'historique de nos connaissances sur les brouillards secs et résume les différentes opinions et explications auxquelles ils ont donné lieu. Il rapporte enfin les observations, faites pendant la durée de ce dernier brouillard, dans vingt-trois stations allemandes comprises dans son périmètre.

C'est une monographie intéressante à consulter.

5° Un travail de M. Montani, de Constantinople, sur les **Périodes anomales.** L'auteur a cru reconnaître qu'il y avait certaines variations périodiques de la pression atmosphérique, généralement très considérables et se reproduisant constamment dans le même ordre pour un même lieu; il donne à ces variations périodiques le nom de périodes anomales et en donne des exemples, aussi bien pour la pression atmosphérique que pour la température. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 24.)

6° Une lettre de M. Maury (de Toulouse), proposant de diviser le globe terrestre en plusieurs sections dont chaque nation en choisirait une pour en faire l'étude météorologique.

M. Reymonet, président de la chambre de commerce de Marseille, fait la communication suivante :

« Messieurs,

« Ce n'est pas pour vous soumettre la communication d'un travail que j'ai demandé la parole, mais seulement pour formuler un vœu au nom de la chambre de commerce de Marseille, à laquelle j'appartiens et à laquelle je dois l'honneur de faire partie du Congrès international de météorologie.

« Depuis plus de deux ans, la chambre de commerce de Marseille a établi un bureau destiné à recevoir les renseignements de l'état de la mer et du temps sur les différents points du littoral qui s'étend jusqu'à Cette et Port-Vendres d'un côté, et jusque sur toute la côte du Var jusqu'à Nice de l'autre. Ce bureau fonctionne et a rendu déjà de très grands services, parce que tous ses renseignements sont affichés sur la façade principale de la Bourse et au bureau du commandant du port.

« Depuis un mois, ces renseignements ont été plus étendus, par suite de la communication qui nous est faite des télégrammes qui sont envoyés par le bureau central de l'Algérie, et dont copie est donnée à la chambre du commerce à leur passage à Marseille. Nous devons cette nouvelle communication à M. le Ministre du commerce et à M. le Gouverneur général de l'Algérie. Je suis heureux de saisir cette circonstance pour exprimer de chaleureux remerciements à ces deux hauts fonctionnaires pour le service qu'ils nous ont rendu.

« Par cette exposition, vous devez voir que ces renseignements sont incomplets. Il y a une lacune qui fait précisément l'objet du vœu que je viens formuler devant vous. Le port de Marseille a des relations excessivement importantes et suivies avec tous les ports de l'Italie, avec lesquels des services réguliers entretiennent un mouvement de navigation incessant et journalier. Dès lors, il serait vraiment à désirer que les dépêches qui sont envoyées par le bureau central d'Italie au bureau central de Paris puissent également être remises en copie à la chambre de commerce de Marseille, qui les ferait afficher comme celles qu'elle a déjà recueillies et qui, par le fait, rendent de très grands services au commerce, aux armateurs et à la navigation. Si donc vous voulez bien vous associer à ce vœu et faire des démarches ou user de votre influence auprès des administrations compétentes pour que cette communication ait lieu, vous aurez rendu un véritable service, je le répète, au commerce, à l'armement et à la navigation. »

Le R. P. Denza, président, ajoute ces mots :

« Nous remercions M. Reymonet de la très intéressante communication qu'il vient de nous faire, et je crois être l'interprète des sentiments du Congrès en priant M. Reymonet de transmettre nos remerciements à la chambre de commerce de Marseille, pour l'intérêt qu'elle porte à la météorologie. »

M. Ragona (Italie) donne un résumé de la discussion de onze années d'observations horaires faites au moyen d'un anémomètre enregistreur à l'Observatoire de Modène. M. Ragona considère d'abord la période diurne, où il trouve que, quel que soit le mois, il se produit successivement quatre augmentations et quatre diminutions de la vitesse du vent. Ces huit effets successifs sont en relation avec la température, la pression atmosphérique et l'heure du lever et du coucher du soleil.

Pour ce qui regarde la période annuelle, la vitesse du vent a successivement trois maxima et trois minima, qui correspondent exactement, mais d'une façon inverse, aux périodes barométriques. Enfin, M. Ragona trouve encore que la variation de vitesse du vent a, dans l'intervalle d'une année, un maximum et un mininum qui correspondent exactement, mais d'une manière inverse, à la marche annuelle de la température. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 8.)

Mme la baronne de Pagès, petite-nièce de Philippe de Girard, invite les membres du Congrès à se rendre au pavillon météorologique du Trocadéro, où elle donnera à ceux qui le désireront quelques explications sur les instruments météorologiques, chronothermomètre et météorographe, inventés par Philippe de Girard.

Elle rappelle la description suivante que F. Arago a donnée de ces instruments :

1° *Chronothermomètre.* — Le chronothermomètre est un instrument météorologique que l'on peut placer sur la façade d'un monument public, et qui présente, conserve, inscrit, sur un tableau qui se renouvelle de lui-même toutes les heures, l'état des variations de la température pendant chacune des vingt-quatre heures qui précèdent l'instant de l'observation; en sorte qu'il suffit à l'observateur de visiter l'appareil une fois par jour pour faire le relevé des indications de l'instrument et avoir ainsi la série complète des variations des températures, comme on pourrait l'obtenir au moyen de vingt-quatre observations météorologiques faites à chaque heure du jour et de la nuit et d'une manière bien moins parfaite et surtout plus coûteuse.

Par le moyen du chronothermomètre, on peut donc dresser un registre des températures d'une manière infiniment plus exacte et plus complète qu'on ne l'a fait jusqu'à présent dans aucun observatoire, puisqu'on ne fait généralement pas plus de trois ou quatre observations thermométriques par jour, tandis que l'instrument de Philippe de Girard en offre vingt-quatre.

Le chronothermomètre, destiné autant à l'usage du public qu'à celui de la science, doit être placé de manière à être consulté facilement de jour et de nuit.

Le mécanisme qui le compose est mis en mouvement par une horloge qui le surmonte, et peut être à très peu de frais installé au-dessous du cadran qui, d'ordinaire, se trouve sur les grands monuments publics.

Le chronothermomètre de Varsovie, depuis 1829, époque de l'invention du chevalier Philippe de Girard, décore une des arcades extérieures du palais de la Banque de cette ville et depuis lors a constamment fonctionné non seulement avec régularité, mais aussi sans aucun dérangement ni réparation.

Le journal quotidien de Varsovie rend compte des indications du chronothermomètre, comme en France les journaux le font pour le thermomètre de l'ingénieur Chevallier.

À la fin de chaque année, les feuilles d'indications du chronothermomètre, reliées en volumes, sont placées dans les archives de l'observatoire de Varsovie.

Le chronothermomètre marche toujours à Varsovie; abîmé pendant l'émeute de 1864, il a été réparé et n'a pas varié depuis lors.

2° *Météorographe.* — Cet instrument, plus jeune de trois ans que le chronothermomètre créé en 1829, est uniquement consacré à la science, à laquelle il offre le moyen d'obtenir, par un procédé purement mécanique, le registre journalier de toutes

les principales variations atmosphériques qui font l'objet des observations météorologiques, savoir :

Les changements de température;
L'état du baromètre;
L'état hygrométrique de l'air;
La quantité de pluie tombée;
Enfin la direction du vent et sa vitesse en mètres par seconde.

Toutes ces indications sont données par des courbes tracées sur deux tableaux que l'on renouvelle chaque jour et qui, réunis en volumes, forment le registre annuel météorologique le plus complet qui ait été tenu jusqu'à présent, puisque les observations s'y trouvent notées pour tous les instants du jour.

Une collection de ces volumes, recueillis par les principaux observatoires de l'Europe et même du monde, présenterait l'histoire exacte et éminemment curieuse des phénomènes atmosphériques de chaque climat, avec un détail inconnu jusqu'à aujourd'hui et un ensemble que plusieurs observateurs réunis ont tenté vainement d'égaler. Ces recueils permettraient aussi d'établir avec une exactitude mathématique des comparaisons souvent impossibles par le manque d'uniformité des expériences au moyen desquelles elles sont obtenues.

La famille de l'auteur ajoute les détails suivants : Dès leur création, M. de Girard a envoyé en France les dessins et descriptions du chronothermomètre et du météorographe que M. F. Arago, juge compétent en pareille matière, considérait comme étant de la plus haute importance pour les progrès et les travaux des sciences exactes et dont il a parlé plusieurs fois dans ses cours de l'Observatoire.

Ces dessins et descriptions furent envoyés à l'Institut en 1839 et en 1842.

Les registres de l'Académie des sciences en font foi aux dates des 1er et 8 avril 1839, n° 97; les recueils du compte rendu aussi, t. VIII, page 544, 27 juin et 4 juillet 1853, n° 296; 11 juin 1855; 7 juillet 1858.

La commission de l'Institut nommée pour faire le rapport sur ces inventions en fut empêchée par des circonstances inconnues, jusqu'au moment où le dernier rapporteur, Babinet, eut égaré les manuscrits de Philippe de Girard. Heureusement, les documents autographes existent encore.

Un premier envoi, fait à l'Institut en 1837, fut vendu en route par un mandataire infidèle, et les idées de Philippe de Girard furent en partie utilisées dans le météorographe du P. Secchi, qui fit tant de bruit en 1867.

M. Montigny, membre de l'Académie royale de Bruxelles, met sous les yeux du Congrès le scintillomètre, à l'aide duquel il a fait toutes ses recherches sur la **Scintillation des étoiles**. Il entre ensuite dans le détail de ses expériences. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 22.)

M. Hervé-Mangon donne quelques explications relatives à la publication du compte rendu *in extenso* du Congrès. Le ministère de l'agriculture et du commerce prend à sa charge les frais d'impression des comptes rendus des différents Congrès et il délivrera le volume de chaque Congrès au prix de revient du tirage à part.

M. Hervé-Mangon propose en conséquence qu'un registre à souches soit dès maintenant ouvert au secrétariat, où chaque membre qui désire recevoir un

exemplaire du compte rendu *in extenso* voudra bien s'inscrire, et même acquitter d'avance, afin d'éviter de nouveaux frais de poste, le montant de la cotisation, fixée à 6 francs. Cette somme pouvant être légèrement supérieure aux dépenses réelles, l'assemblée décide que l'excédent, s'il y en a, sera versé à la caisse de la Société météorologique de France, en atténuation des dépenses occasionnées par l'organisation du Congrès.

M. Hoffmeyer (Danemark) complète les explications qu'il a déjà données au sujet de la **Formation des centres de dépression au-dessus de la mer.** Il fait remarquer que, sur les petites mers comme sur les grands océans, il se développe pendant l'hiver des minima barométriques, ou plutôt qu'on trouve là une tendance à renforcer les minima qui passent. M. Hoffmeyer cherche la raison de ce fait dans la différence de température qui existe pendant la saison froide, entre la mer et les pays qui la bordent. Comme exemples, il cite le détroit de Davis, la mer Baltique, la mer Blanche, la mer Noire, la mer Caspienne et les parties de la Méditerranée voisines de l'Italie.

Une conséquence de la formation de ces minima est qu'il doit exister des vents de direction contraire sur les bords orientaux et occidentaux de ces mers. De même, les courants des grandes mers sont déviés vers leur droite, par suite de la rotation de la terre sur son axe, de telle sorte qu'on trouve sur toutes les côtes orientales des courants froids aussi bien dans l'air que dans l'eau, et le contraire sur les côtes occidentales. Ce qui peut, ajoute en terminant le savant directeur de l'Institut météorologique danois, aider à comprendre la différence climatologique extraordinaire qui existe dans l'hémisphère Nord entre les côtes occidentales et les côtes orientales pendant la saison d'hiver.

M. Hébert traite en son nom et en celui de MM. Piche et de Touchimbert, de l'**Observation des orages et des signes à adopter dans la confection des cartes qui les représentent.**

Il s'exprime en ces termes :

« Messieurs, je me propose de vous parler des orages. Le programme qui a été tracé par le Congrès comporte à cet égard deux questions différentes : l'une, l'organisation des observations des orages; l'autre, les signes à adopter dans la représentation des observations pour faciliter la discussion non seulement en France, mais la discussion internationale.

« Je vous demande, Messieurs, la permission d'aborder successivement ces deux questions.

« La question des observations peut, à mon avis, comprendre deux parties distinctes : l'une, qui est très connue et sur laquelle je n'aurai pas à insister, et qui consiste à avoir dans un pays déterminé, en France par exemple, dans l'étendue d'un département, un nombre considérable de correspondants qui veulent bien faire les observations, toujours très simples, et qui ne nécessitent d'ailleurs l'emploi d'aucun instrument. J'ai pratiqué cela pendant plusieurs années; je suis convaincu que, pour avoir des résultats parfaitement sérieux, il serait nécessaire d'avoir un observateur presque dans chaque commune d'un département, surtout dans les départements où les communes sont très éten-

dues. Je crois cela réalisable, car chaque commune est pourvue d'un instituteur et, en général, pourvu qu'on lui donne les renseignements nécessaires, qu'on lui fournisse les notions dont il a besoin, il peut être parfaitement à même de faire ces observations avec soin. On lui envoie un bulletin imprimé contenant différentes colonnes avec indication, en tête, des observations demandées dans chaque colonne. Il y a, en outre, derrière le bulletin une série d'explications sur la manière d'observer et de noter les choses et, par l'expérience, j'ai vu qu'en général j'obtenais des instituteurs de très bons résultats, des résultats quelquefois remarquables. Dans certaines contrées, l'on rencontre parfois un concours empressé et intelligent de la part de membres du clergé, de médecins, de propriétaires et d'autres encore, si bien qu'on peut, je le crois, arriver à constituer un très bon réseau.

« Je n'insisterai pas sur les bulletins d'orage. Tout le monde connaît le modèle qui avait été adopté jadis par l'Observatoire de Paris, quand on avait, en 1865, commencé les observations des orages en France. C'est toujours à peu près le même modèle que nous avons suivi. Cependant, à la suite du Congrès météorologique tenu à Poitiers en 1875, nous avions apporté une petite modification consistant à y introduire deux ou trois questions qui ne s'y trouvaient pas auparavant. Ainsi les premiers bulletins demandaient l'heure du début de l'orage, et à cet égard il y avait lieu de s'entendre. Eh bien, il avait été convenu que l'heure du début de l'orage serait marquée par l'heure du premier coup de tonnerre entendu, et la fin de l'orage par l'heure du dernier coup de tonnerre.

« Nous avons pensé qu'il était bon d'ajouter une autre colonne, destinée à indiquer l'heure pendant laquelle l'orage était à son maximum. Puis, nous avons demandé si l'orage qui était observé était passé directement sur la commune, ou bien si on l'avait vu passer seulement à l'horizon. Dans ce cas, l'observateur était prié d'indiquer, s'il le pouvait, les communes au-dessus desquelles était passé l'orage. Cela est généralement possible, les observateurs étant le plus souvent parfaitement renseignés sur la topographie du pays.

« Cette question n'est pas sans importance et nous a donné de bons renseignements, puisqu'elle nous a permis de contrôler les renseignements obtenus dans le voisinage.

« Nous avons demandé aussi de quel côté on avait aperçu les éclairs, et cela même quand il n'y aurait pas eu de tonnerre. Cette question nous a permis de reconnaître des orages qui s'étaient produits dans des localités souvent fort éloignées de celle où l'on observait, et nous avons pu déterminer de la sorte, avec assez de netteté, le point exact où ils s'étaient produits.

« Je n'insisterai pas davantage sur cette méthode d'observation; mais il y en a une seconde sur laquelle j'appellerai plus spécialement votre attention, ainsi que je l'ai déjà fait au Congrès de Poitiers. J'ai depuis employé ce procédé, et je m'en suis très bien trouvé.

« Il consiste dans l'observation des phénomènes produits par l'électricité sur les fils télégraphiques.

« Les stations télégraphiques sont très répandues en France aujourd'hui, et dans la plupart des départements, non seulement il y en a dans chaque chef-

lieu de canton, mais encore on en trouve dans d'autres communes plus petites. Nous avons donc, par suite, de tous les côtés, une série de fils disposés à subir les influences de l'électricité atmosphérique et à donner naissance à la production de courants électriques. Il en résulte, pour les appareils, des influences diverses dont l'intensité varie selon la distance à laquelle l'orage passe du fil: cela est surtout remarquable dans les stations centrales.

« La France, en effet, était divisée dernièrement, avant la dernière réforme télégraphique, — je ne connais pas exactement la nouvelle, — en un certain nombre de centres de dépôts, autour desquels rayonnaient plusieurs départements, et ces centres étaient tous reliés avec Paris directement. Parmi ces centres de dépôts, je citerai Bordeaux, Clermont, Toulouse. Ils étaient de plus en relation par des lignes plus courtes avec les chefs-lieux des quatre ou cinq départements voisins. À côté de ces lignes principales se groupaient un certain nombre de lignes départementales et même municipales.

« Or, lorsqu'un orage s'approche de l'un de ces fils, il s'y produit des courants qui agissent sur les appareils, les ébranlent et les mettent en mouvement. Il se produit ce que l'on désigne sous le nom de *contacts d'orages*, faibles d'abord, puis devenant de plus en plus forts, mais laissant encore la possibilité de transmettre ou recevoir des dépêches. Souvent ces contacts finissent par acquérir une intensité plus grande, de telle sorte que les communications deviennent impossibles; les appareils commencent à être menacés, des étincelles se produisent et il faut mettre les fils en rapport avec le paratonnerre. On met donc la ligne à la terre et on ne l'y maintient que le temps pendant lequel les communications sont absolument impossibles.

« Ces divers phénomènes ainsi constatés doivent être inscrits dans chaque bureau, sur un procès-verbal. Les relevés de ces observations faites dans les différents bureaux des départements sont extrêmement précis au point de vue de l'heure, puisque les horloges y sont exactement réglées. Le moment est indiqué à la minute.

« J'ai obtenu que ce système fût appliqué dans la Haute-Vienne. L'inspecteur des lignes télégraphiques, avec une bienveillance dont je suis heureux de le remercier, a fait distribuer des bulletins et, après chaque orage, ces bulletins, qui indiquaient toutes les particularités dont je viens de parler, lui étaient transmis, et il me les faisait parvenir.

« Ce mode d'observation m'a rendu de grands services et j'ai eu un jour l'occasion de constater combien il pouvait être utile.

« Au mois de juin 1877, la Haute-Vienne fut le théâtre d'un orage assez violent. Ordinairement, après les orages de ce genre, je recevais cent à cent cinquante bulletins des observateurs volontaires; mais ce jour-là, je n'en reçus que très peu, douze à quinze environ. Malgré cela, comme j'avais reçu de très nombreuses observations télégraphiques, j'entrepris de faire la discussion de l'orage avec elles. Elle fut faite, arrêtée et envoyée à l'Observatoire, puis publiée.

« Quelques semaines plus tard, en recevant un certain nombre de bulletins relatifs à un autre orage, je trouvai quatre-vingt-quinze bulletins se rapportant à l'orage précédent déjà publié.

« Je repris avec ces documents nouveaux le travail fait précédemment, de façon à établir une comparaison.

« Or il arriva ceci, c'est que ma discussion avec les bulletins se trouvait identique à celle déjà publiée à l'aide des observations télégraphiques.

« Il y a donc là, comme vous le voyez, un puissant moyen de compléter les observations directes, de les contrôler et de leur donner un plus grand degré de précision. »

M. Hébert passe ensuite à l'examen des signes à adopter dans la confection des cartes d'orages, et indique quels signes MM. Piche, de Touchimbert et lui-même ont adoptés dans les études qu'ils ont faites; enfin, il met sous les yeux du Congrès des cartes construites conformément aux indications précédentes.

M. Buys-Ballot (Pays-Bas), sans nier la valeur des signes conventionnels choisis par M. Hébert, insiste sur la nécessité d'admettre dans tous les pays des signes conventionnels uniformes et de prendre d'abord tous ceux qui ont été adoptés par la Commission internationale de Vienne.

Le Congrès approuve l'observation de M. Buys-Ballot et, après quelques réflexions émises au même propos par MM. de Touchimbert, de Tastes, Tarry et Angot, le Congrès décide, sur la proposition de M. Angot, que tous les mémoires adressés au Congrès et relatifs à la question des orages, seront renvoyés à l'étude du comité de publication des comptes rendus.

M. Pittei, directeur du bureau météorologique de la marine italienne, écrit pour insister sur la nécessité qu'il y aurait de publier un dictionnaire spécial donnant, en un grand nombre de langues, les synonymes exacts des diverses expressions météorologiques usitées dans chaque pays.

M. Angot dépose sur le bureau, pour être renvoyés à l'étude de la commission des orages :

1° Un mémoire et des cartes d'orage envoyés par M. Piche. Le mémoire imprimé est une *Instruction pour l'organisation de l'étude des orages dans chaque département*, rédigée par M. Piche, secrétaire de la commission météorologique des Basses-Pyrénées, en exécution des décisions du Congrès de Poitiers. À cette instruction M. Piche joint, comme spécimen et pièces à l'appui, la carte générale des orages en France, le 7 juillet 1875, et la carte locale des Basses-Pyrénées pour la même date.

2° Une lettre de M. X. Thiriat, à Vagney (Vosges), en réponse à plusieurs questions du programme du Congrès, et dont nous extrayons les passages suivants :

1° J'ai une série d'observations météorologiques quotidiennes qui remonte au 1er janvier 1851, sans interruption. Je me suis surtout attaché à l'étude des orages; et j'ai constaté que, sur une moyenne de dix-huit orages qui éclatent ici annuellement, un tiers se forme dans la région; que les orages à grêle, communs dans la plaine des Vosges, sont beaucoup plus rares dans la montagne, et qu'ils arrivent toujours alors que deux vents opposés, par exemple le Nord et le Sud, ont soufflé dans les hautes régions pendant les heures qui précèdent l'orage.

Des nuages, arrivant de deux rumbs formant angle, produisent de même presque toujours de la grêle, et toujours des coups foudroyants. Enfin les gorges, les vallées, les montagnes ont une grande influence sur la formation, la fréquence, l'intensité des orages. Je connais tel point où, de mémoire d'homme, aucune grêle dommageable n'est tombée, tel autre où tous les orages donnent de l'eau en abondance, alors que souvent un point voisin, à quelques kilomètres, n'en reçoit point.

2° Je laisse aux membres du Congrès l'initiative des signes dont il est question dans le 2° paragraphe. N'ayant jamais eu la bonne fortune de voir une carte d'orage... (J'ai, depuis dix ou quinze ans, fourni régulièrement des notes sur tous les coups de tonnerre que j'ai constatés, et n'ai pas même reçu un mot de remerciement. Il faut avoir comme je l'ai la passion de la météorologie pour continuer à faire du zèle. Prière au Congrès d'aviser aux moyens, non de trouver des observateurs, mais de les conserver et de leur faire savoir qu'on utilise leurs travaux.) Je ferme donc ma parenthèse en répétant que, n'ayant pas vu de carte d'orage et n'ayant pas le moyen de m'abonner à l'Atlas publié chaque année, je ne puis parler que des faits constatés par moi. Il me semble que si je pouvais voir la comparaison des orages dans les Vosges avec ceux qui aux mêmes dates ont été remarqués ailleurs, bien des hypothèses que je forme auraient leur solution trouvée.

3° J'ai eu occasion d'observer l'origine de deux trombes terrestres. Cette forme d'orage commence par un petit nuage immobile sur le sommet d'une montagne, et qui semble attirer les vapeurs de tous les points de l'horizon. La trombe du 8 juillet 1873, qui versa des cataractes d'eau et ravagea le territoire de Vecoux, à 10 kilomètres de Vagney, eut cette origine. Le nuage grossit, creva sur place et ne se déplaça pas. Dans le rayon de 5 ou 6 kilomètres, le vent était fort, sans être impétueux; au delà de cette zone, air calme.

Je poserais volontiers au Congrès une question. Quelle est l'origine et la nature non seulement des brouillards secs, mais aussi des brouillards alliacés, fétides, qui de loin en loin couvrent le pays, soit en été, soit en hiver?

Les heures d'observations auxquelles je suis habitué sont 7 heures du matin, 2 heures et 6 heures du soir, pour le baromètre, 2 heures pour la température maxima. Ayant un thermomètre minima, depuis longtemps j'indique le chiffre auquel il s'est arrêté la nuit. Je n'ai pas d'abri, et il n'est guère possible d'en construire un dans de bonnes conditions près de mon habitation. Je me sers du thermomètre fronde. Le pluviomètre de Babinet qui sert depuis dix ans à mes observations est posé dans un jardin, aussi loin que possible des murs voisins, d'ailleurs peu élevés.

3° Une lettre de M. l'abbé David, secrétaire de la commission météorologique du département de l'Yonne, et dont nous extrayons les passages suivants:

J'ai l'honneur de vous adresser deux spécimens des cartes d'orages que nous fournissons à l'Observatoire, ainsi que l'imprimé dont nos correspondants sont munis.

Ces cartes sont celles d'orages récents, le dernier du 19 mai et le premier du 15 mai. Elles montrent que ces deux orages, séparés par un intervalle de trois jours, mais se suivant dans la série, ont atteint, à très peu près, les mêmes régions, les éclaircies entre les filets se produisant en général sur les mêmes points. C'est d'ailleurs une remarque populaire que les orages suivent très souvent, dans le cours d'une saison, le chemin qu'ils semblent avoir adopté au début.

Nos cartes, comme système de figuration, ne diffèrent pas du modèle donné autrefois par l'Observatoire; nous avons seulement cherché à les rendre plus expressives, de telle sorte qu'à première vue on reconnaisse l'allure générale du météore : les localités ou régions où l'intensité a été la plus grande, la nature et l'importance des accidents ou

dégâts, etc. Dans ce but, on a donné aux différentes parties du dessin une apparence en rapport avec l'intensité; les points couvrant les localités où passe l'orage sont de quatre grosseurs, selon que l'orage est faible, ordinaire, fort ou violent : l'épaisseur des lignes bleues indiquant les heures d'arrivée et des flèches de direction des filets, n'est pas uniforme, mais variable avec l'intensité et la densité de l'orage. Nous avons aussi augmenté le nombre des signes indicatifs de chutes de foudre ou de grêle.

Les effets d'un orage sont souvent si variables dans son parcours, même entre points voisins, que la figuration exacte et complète n'exigerait pas moins d'un observateur par commune; les phénomènes particuliers: tourbillons, grêles, averses torrentielles, chutes de foudre, sont pour la plupart locaux et on ne peut en être averti qu'à cette condition. C'est à une telle organisation qu'ont tendu particulièrement les efforts de la commission météorologique de l'Yonne. Grâce à l'appui de l'autorité académique, elle a le concours d'un assez grand nombre d'instituteurs (trois cents sur cinq cents environ) pour que les cartes et statistiques qu'elle dresse aient dès à présent, croit-elle, quelque valeur. Mais nous ne serons satisfaits que lorsque nous aurons l'observateur par commune, car alors seulement il sera possible de suivre avec certitude la marche des différents filets constituant un même massif orageux, et de reconnaître l'influence qu'ils exercent les uns sur les autres dans la production des renouvellements ou renforcements d'intensité, pluies torrentielles, grêle, etc.

4° Des cartes d'orages adressées de Suisse par M. Billwiller, chef du bureau météorologique suisse.

La séance est levée à 5 heures un quart.

Le Secrétaire,
BRAULT.

RÉUNIONS DU 27 AOÛT 1878.

1° SÉANCE DU MATIN (PALAIS DES TUILERIES).

PRÉSIDENCE DE M. HOFFMEYER (DANEMARK).

SOMMAIRE. — CROVA : Radiation solaire. — DE VALCOURT, SYMONS, R. P. DENZA, VIOLLE : Discussion sur la même question. — VIOLLE : Nouvel actinomètre. — VIGUIER : Formation de la grêle. — ALLUARD : Organisation de l'observatoire du Puy-de-Dôme; nouvel hygromètre à condensation; formation du givre au sommet du Puy-de-Dôme. — JAME : Lettre sur l'ozonométrie. — Dr BÉRIGNY : Recherches ozonométriques.

La séance est ouverte à 9 heures un quart. Le procès-verbal de la séance de lundi matin est lu et adopté.

M. CROVA, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, indique les méthodes qu'il emploie pour étudier la **Radiation solaire**. On peut opérer en recevant directement les rayons solaires sur la boule d'un thermomètre à mercure recouverte de noir de fumée, mais il est bon de limiter le faisceau incident de façon qu'il soit plus petit que la section de la boule du thermomètre, pour que les conditions restent toujours les mêmes. On dispose donc en avant du thermomètre un écran percé d'une ouverture convenable, et l'on place le tout sur un héliostat assez grossier, et par suite peu coûteux, de façon que l'écran reste toujours perpendiculaire au faisceau incident. On pourrait encore remplacer le thermomètre à mercure par une pile thermo-électrique. Dans ces conditions, les expériences nécessaires pour évaluer la radiation solaire consistent simplement à mesurer l'excès de la température du thermomètre noirci sur celle de l'atmosphère.

M. Crova indique quelques résultats obtenus par cette méthode; il a trouvé, entre autres, que la radiation calorifique est plus forte en hiver qu'en été. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 20.)

M. DE VALCOURT pose à M. Crova quelques questions sur les indications fournies par les thermomètres conjugués dans le vide, à boule noircie et nue, que l'on emploie d'ordinaire.

M. SYMONS (Angleterre) rappelle qu'en opérant avec ces derniers thermo-

mètres on a trouvé des résultats analogues à ceux qu'annonce M. Crova. En Angleterre, le maximum de l'écart entre les thermomètres conjugués dans le vide se produit non en été, mais au printemps. Cet écart est plus grand dans les Shetland et les îles au nord de l'Angleterre qu'en Angleterre même.

M. Crova insiste sur la grande différence qui existe entre les méthodes qu'il emploie et le procédé des thermomètres conjugués dans le vide. Les premières donnent réellement la radiation calorifique, tandis que le second ne correspond à aucun phénomène naturel, par suite de l'interposition du verre sur le trajet des rayons solaires. Dans ce cas, on ne sait plus du tout ce que l'on mesure.

Le R. P. Denza (Italie) rappelle que, dans les observations actinométriques qu'il a faites dans la haute Italie, il a également trouvé que c'est au printemps que se produit le maximum de la radiation solaire.

M. Violle, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, est d'accord avec M. Crova sur le peu de valeur qu'il faut accorder aux indications des thermomètres conjugués dans le vide. Il s'est préoccupé de chercher un appareil aussi simple qu'eux, et par suite pouvant être observé par le premier aide venu, tout en donnant des résultats sérieux. Le **Nouvel actinomètre** qu'il indique se compose de deux sphères égales et creuses en laiton, contenant chacune en son centre un thermomètre dont la tige sort par une tubulure. L'une des sphères est dorée, l'autre recouverte de noir de fumée. Exposées au soleil, elles prennent des températures différentes qu'accusent leurs thermomètres. M. Violle montre comment, au moyen d'un calcul très simple, on peut déduire la radiation absolue de la température des deux boules. Le calcul peut même être fait dans les observatoires, et l'on ne demanderait aux aides que de lire les thermomètres des deux boules, comme ils le font déjà pour les thermomètres conjugués dans le vide. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 21.)

M. Viguier fait une communication sur la **Formation de la grêle.** Dans les pays qui avoisinent la Méditerranée, les fortes grêles n'arrivent jamais par des vents de Sud ou de S. E., quoique ces mêmes vents amènent souvent des orages. L'observation montre de plus que la formation de la grêle est toujours accompagnée de vent violent, au moins dans les hautes régions de l'atmosphère, et d'un abaissement notable dans la température. L'auteur part de ces données expérimentales pour établir sa théorie de la formation de la grêle. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 25.)

M. Zweifel (Alsace) présente quelques observations sur la communication de M. Viguier; il fait remarquer que, d'après les atlas de l'Observatoire, la très grande majorité des orages viennent du golfe de Gascogne.

M. Alluard décrit dans les termes suivants les nouveaux perfectionnements apportés à l'**Organisation de l'observatoire du Puy-de-Dôme :**

« Les travaux que nous faisons chaque jour à l'observatoire du Puy-de-Dôme nous montrent la nécessité d'étudier l'atmosphère couche par couche. Aussi souhaitons-nous vivement, non seulement que l'on fonde des observatoires de montagne, mais que ceux-ci soient entourés de stations accessoires, d'altitudes régulièrement croissantes, si cela est possible. Nous les préférerions moins nombreux, à la condition qu'ils ne soient pas isolés, mais munis de postes intermédiaires, où des observations faites simultanément donneraient plus d'intérêt et serviraient de contrôle à celles d'en haut et d'en bas.

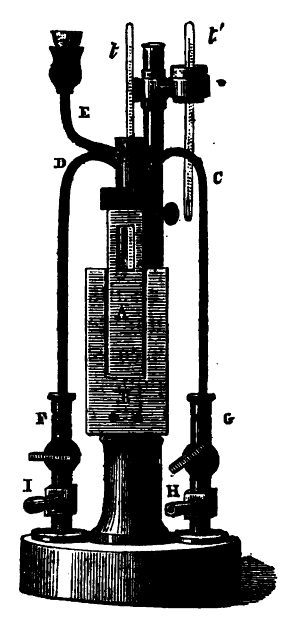
« C'est afin de réaliser ce programme, qui offrira tant d'avantages aux recherches scientifiques, que nous avons fait des efforts pour créer une station presque à égale distance en altitude entre Clermont et le sommet du Puy-de-Dôme. Les météorologistes l'apprendront avec plaisir : ces efforts viennent d'être couronnés de succès. Grâce au concours des officiers supérieurs du 13e corps d'armée, et particulièrement de M. Dumas de Champvallier, directeur de l'école d'artillerie de Clermont, nous établissons à une altitude de 970 mètres (celle de Clermont est de 400 et celle du sommet du Puy-de-Dôme de 1,470), au champ de tir établi à la base de la montagne du Puy-de-Dôme, nous établissons, disons-nous, un poste météorologique de second ordre, où des observations seront faites régulièrement toute l'année. Nous pourrons donc, à l'avenir, dire ce qui se passe chaque jour, au centre même de la France, dans trois couches d'air presque équidistantes entre 400 et 1,500 mètres.

« Mais ce n'est là qu'une partie de nos projets. On le comprendra facilement. Lorsque, du sommet du Puy-de-Dôme, on contemple la chaîne des volcans éteints, qui, au nombre de quatre-vingts environ, forment la chaîne des Dômes sur une longueur d'à peu près 8 lieues, et tous ces autres centres d'éruption basaltique dont le pays est parsemé depuis la plaine jusque sur la crête du plateau central, comment ne pas songer à utiliser la base supérieure de ces troncs de cône (c'est la forme habituelle de ces volcans) pour des recherches scientifiques? Ce sont de petites plates-formes qui semblent prédestinées aux études météorologiques : il y en a à toutes les altitudes; elles sont isolées dans l'atmosphère, comme des nacelles de ballon captif. Aussi avons-nous songé à organiser des séries d'expériences simultanées, qui seront faites de temps en temps avec le concours de plusieurs observateurs placés soit à la même hauteur, sur des points différents, soit à des altitudes variant de 100 à 200 mètres, tout autour de la montagne du Puy-de-Dôme, depuis la plaine jusqu'au sommet.

« Tels sont nos projets. Des préparatifs déjà commencés, dans cet ordre d'idées, permettront de les réaliser prochainement, en particulier pour l'hygrométrie, qui nous a donné des résultats inattendus que nous pourrons bientôt publier.

« En tout cas, soit pour ces recherches simultanées, soit pour des recherches spéciales, objets de leurs études favorites, les météorologistes étrangers et français seront toujours les bienvenus à l'observatoire du Puy-de-Dôme. Ils y trouveront tout à la fois les ressources expérimentales d'une faculté des sciences et le plus cordial accueil. »

M. Alluard présente ensuite son **Hygromètre à condensation**, modification de celui de Regnault.



Cet hygromètre se distingue de tous ceux qui ont été employés jusqu'ici par les deux points suivants : 1° la partie sur laquelle le dépôt de rosée doit être observé est une face plane A bien polie, en argent ou en laiton doré; 2° cette face plane est encadrée dans une lame d'argent ou de laiton B, dorée et polie elle-même, qui ne la touche pas, et qui, n'étant jamais refroidie, conserve toujours tout son éclat. Il résulte de cette disposition que le dépôt de rosée s'observe avec la plus grande facilité sur la surface A, de telle sorte qu'on ne trouve presque aucune différence entre les températures des instants où la rosée commence et finit de paraître sur l'instrument, convenablement refroidi par l'évaporation de l'éther.

« La forme de l'appareil est celle d'un prisme droit à base carrée. Sa hauteur a 8 centimètres et sa base 18 millimètres de côté. Trois petits tubes de cuivre CG, DF et E, traversent le couvercle supérieur; le premier, CG, pénètre jusqu'au fond, et les deux autres, DF et E, dont l'un, E, est surmonté d'un entonnoir servant à introduire de l'éther, débouchent seulement en haut. Deux petites fenêtres permettent de juger de l'agitation de l'éther par l'aspiration ou le refoulement de l'air destiné à produire le refroidissement en évaporant le liquide volatil. Le mieux est d'opérer avec un aspirateur, dont on règle l'aspiration suivant les besoins, lorsque les expériences se font à poste fixe; mais, en voyage, il est bien préférable de se servir d'un petit soufflet à souffle continu qui est d'un transport très facile et qu'on adapte à l'hygromètre par un tube de caoutchouc fixé en H. Quand on emploie un aspirateur, il faut le faire communiquer à l'appareil au moyen d'un tube de caoutchouc attaché en I.

« Une tubulure centrale permet l'introduction d'un thermomètre *t* qui, se trouvant placé au milieu du liquide en évaporation, donne la température à laquelle se fait le dépôt de rosée.

« Un petit thermomètre fronde *t'*, fixé à côté sur un support en laiton caché presque entièrement sur le dessin par l'hygromètre lui-même AB, permet de déterminer avec précision la température de l'air dont on veut avoir l'état hygrométrique.

« L'hygromètre à condensation de Daniell a été modifié autrefois par M. V. Regnault. Cet éminent physicien en a fait un instrument de précision; mais son appareil ne s'est pas répandu, à cause de sa manœuvre délicate. Le dépôt de rosée se produisant sur un cylindre d'argent poli est difficile à saisir. Dans l'hygromètre à face plane que je présente, ce dépôt se voit très facilement par contraste, à quelques mètres de distance, surtout si l'on a le soin de se placer

de manière à éviter toute réflexion sur les faces dorées, ce qui les fait paraître d'un beau noir d'ébène. Son emploi étant très simple, sans rien perdre de sa précision, rien ne s'oppose plus à ce que son usage devienne général.

«Depuis que les observations météorologiques se sont multipliées de tous côtés, l'hygromètre a pris une importance qu'il n'avait pas autrefois. Celui qui est presque exclusivement employé aujourd'hui est le psychromètre. Or, tous les physiciens savent qu'à la température de zéro degré et au-dessous on ne peut pas compter sur les résultats qu'il donne; il en est de même dans un air très agité. Cependant, presque partout, on continue à s'en servir dans ces conditions-là.

«Nous espérons que l'hygromètre à face plane, muni pendant les froids de l'hiver d'un aspirateur plein d'un mélange d'eau et d'alcool ou de glycérine, ou simplement d'un soufflet à souffle continu, pourra donner des résultats précis à tous ceux qui ne craindront pas de consacrer deux ou trois minutes à sa manœuvre. Il pourra, de plus, servir à contrôler, en maintes circonstances, toute installation hygrométrique dans les observations météorologiques.

«M. Golaz construit cet appareil avec toute l'habileté qu'on lui connaît (rue des Fossés-Saint-Jacques, 24, à Paris). Dans les nouveaux modèles, le support à colonne du thermomètre fronde *t'* est remplacé par deux tubes de laiton qui servent d'étui, l'un au thermomètre *t* et l'autre au thermomètre *t'*, et le socle cylindrique par une caisse cubique en laiton, dont l'une des faces verticales s'ouvre avec charnières. Cette caisse sert à renfermer et à protéger les tubes de caoutchouc qui restent toujours attachés aux tubulures I et H disposées non plus horizontalement, mais verticalement, au-dessous de sa base supérieure. Alors, l'installation de l'appareil se fait tout de suite, sans aucun retard.

«L'hygromètre devant être employé à faire souvent des expériences en plein air, se met dans une boîte en bois d'un transport facile, boîte qui renferme un soufflet, deux flacons d'éther, deux thermomètres de rechange, une peau de chamois et tous les accessoires dont on peut avoir besoin pendant les excursions.

«Un trépied, à tiges de métal glissant les unes dans les autres pour diminuer sa longueur de moitié et le rendre d'un transport plus commode, permet de l'établir rapidement et solidement en rase campagne, même par les plus mauvais temps.

«En cas de pluie ou de vents violents, l'hygromètre est laissé dans sa boîte, dont le fond s'ouvre comme le devant; la manœuvre du soufflet peut se faire sans l'en sortir, et les expériences deviennent faciles dans ces conditions si désavantageuses.

«Dans les voyages, si l'on se propose, non pas de faire des recherches suivies, mais de déterminer seulement l'état hygrométrique de l'air, il est préférable d'emporter un hygromètre plus petit. Le prisme droit à base carrée A est rétréci au-dessous des fenêtres; sa section est alors un carré de 12 millimètres de côté : le thermomètre *t* est lui-même réduit à une longueur de 25 centimètres; il marque au plus 30 degrés, ce qui suffit dans nos climats. La boîte qui reçoit l'instrument, son soufflet et les divers accessoires, est elle-même de dimensions beaucoup moindres; elle ne pèse que 4 kilogrammes environ et se transporte partout à la main sans aucune fatigue.»

M. Alluard donne ensuite quelques détails sur la **Formation du givre au sommet du Puy-de-Dôme**, et sur la difficulté qu'on en éprouve pour les observations. Ce phénomène, qui ne se produirait probablement plus d'une manière aussi marquée à de plus grandes altitudes, tient à la position particulière du sommet du Puy-de-Dôme, dans la région ordinaire des nuages.

M. Alluard entre à ce sujet dans les considérations suivantes :

« Au moment où il est question de créer plusieurs observatoires de montagne semblables à celui que j'ai fondé à la cime du Puy-de-Dôme, il me semble opportun de signaler aux météorologistes l'une des difficultés imprévues que l'on rencontre. Je veux parler des dépôts de givre, réellement surprenants par leurs grandes dimensions, qui se produisent sur les constructions de l'Observatoire, au sommet du Puy-de-Dôme, lorsque soufflent pendant l'hiver les vents d'Ouest et de Nord-Ouest.

« Primitivement, la ligne télégraphique qui relie les deux stations de cet établissement restait aérienne, même à la cime du Puy-de-Dôme, jusqu'à son entrée dans le bureau. Souvent, pendant l'hiver, ces fils d'un diamètre de 6 millimètres se recouvraient de givre et prenaient alors une épaisseur allant jusqu'à 20 centimètres au moins. Ils fléchissaient sous ce poids de glace, et si, dans ces conditions, un vent un peu fort venait à les agiter, ils se brisaient. De là de fréquentes avaries qui nous ont obligés de rendre la ligne souterraine dans cette partie de la montagne.

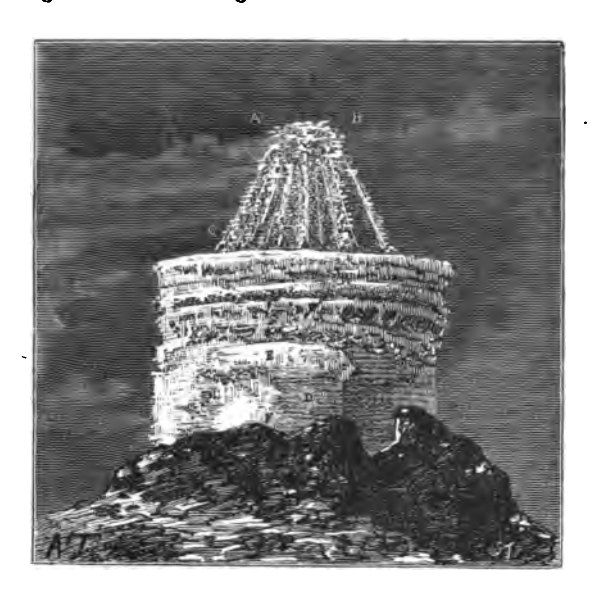
« Les paratonnerres Franklin, qui protègent l'habitation du gardien, se garnissent alors de dépôts de glace qui en forment des cônes à large base ayant parfois 20 à 30 centimètres de diamètre.

« Aucune description ne peut donner une idée exacte de l'aspect que prend l'Observatoire dans ces circonstances. Deux dessins y suppléeront.



« Le premier représente les effets de givre sur la cabane en bois établie en

1874 par M. le commandant Perrier, pour la détermination des éléments géographiques du sommet du Puy-de-Dôme. Sur la face de l'Ouest, les aiguilles horizontales de givre ont une longueur de 85 centimètres.



«Le second montre les mêmes effets sur le pavillon de la météorologie, au point culminant même de la montagne. Le mât de fer de l'anémomètre, le palier qu'il porte à sa partie supérieure, l'échelle qui y conduit, tout disparaît et prend l'aspect d'un immense bloc de glace; les haubans sont hérissés d'aiguilles horizontales de givre qui mesurent près d'un mètre en présentant toujours leur pointe à la direction du vent. Tout cela offre un coup d'œil original et charmant; et lorsque le soleil n'est pas caché dans les nuages, la lumière produit des effets merveilleux sur ces aiguilles et ces blocs de glace; la tour paraît être recouverte d'énormes diamants.

«Les dépôts de givre entravent beaucoup d'observations; ils se forment sur tous les instruments placés à l'extérieur. Comment s'y opposer? Les corps gras ne les arrêtent pas et s'en recouvrent eux-mêmes. Jusqu'ici, nous ne connaissons d'autres moyens efficaces que les enveloppes multiples, de telle sorte que le givre se dépose sur celles qui sont extérieures. Mais, dans beaucoup de cas, comme pour les anémomètres, il est impossible de les employer. Il y a là de sérieuses difficultés pour l'organisation des observations de montagne qui se trouvent dans la région des nuages. L'avenir nous apprendra sans doute à les lever.»

À propos des critiques faites par M. Alluard sur le psychromètre et la comparaison qu'il en a faite avec l'hygromètre à condensation, le R. P. Denza fait remarquer qu'on peut encore obtenir, moyennant certaines précautions, de bonnes observations avec le psychromètre par des températures de –10 à –12 degrés.

M. Zenger montre les photographies qu'il a obtenues dans ses applications de la photohéliographie à la prédiction du temps. (Voir séance du lundi matin, 26 août.)

M. Mascart demande si le phénomène des couronnes observées fréquemment autour du soleil ne jouerait pas un grand rôle dans les photographies de M. Zenger.

M. le Dr Bérigny, ayant le plus sincère désir que la question de l'ozonométrie fût traitée complètement devant le Congrès[1], avait écrit à M. Jame (de Sedan), pour l'inviter à venir à Paris. Ce savant chimiste, ne pouvant s'absenter, a fait à M. Bérigny, qui l'a lue en séance, la réponse suivante :

Balan, près Sedan, le 23 août 1878.

Mon cher Monsieur Bérigny,

Je reçois votre aimable et pressante lettre, qui me contrarie infiniment par l'impossibilité absolue où je suis de me rendre au Congrès pour défendre, à vos côtés, la cause du papier ozonométrique. Peut-être, bien que, comme vous le dites, la question soit grosse d'orages, notre nef n'aura-t-elle à subir que quelques grains et méritera-t-elle la devise parisienne : *Fluctuat nec mergitur*. En tout cas, et faute de mieux, voici ma réponse à quelques objections prévues :

Quelle est la valeur du papier ozonométrique?

La question s'entend de deux manières :

1° Au point de vue de sa préparation et des résultats chimiques;

2° À celui des services qu'il peut rendre à la météorologie et à l'hygiène.

1° Préparation et résultat chimique.

Le papier doit être de pure cellulose, homogène, uniforme, irréprochable en un mot. L'iodure de potassium chimiquement pur (sous peine de nombreuses causes d'erreurs), c'est-à-dire non altéré par les carbonate et iodate de potasse, les chlorures potassique et sodique, l'eau, etc. Donc, on doit s'assurer qu'il n'est ni effervescent dans les acides, ni déliquescent; que l'alcool à 90 degrés le dissout, sans laisser ni iodate ni carbonate; que, chauffé dans un long tube, il ne donne pas d'eau; que l'azotate d'argent et l'ammoniaque ne décèlent pas de chlorures par la coloration finale à la lumière; enfin, que le chlorure de palladium ne donne pas de trace de brome. Dans ces conditions, et en s'assurant de la pureté des autres substances nécessaires à la préparation du papier et, dans la confection de ce dernier, en s'entourant des minutieuses précautions voulues, communiquées il y a longtemps déjà à l'Académie des sciences de Paris, on est certain d'avoir un papier exact, fidèle, complet, donnant lieu à des observations non entachées de causes d'erreur, lorsqu'elles sont faites avec le soin apporté aujourd'hui dans les observatoires où fonctionnent, comme auxiliaires, des hypsomètres, papiers colorés, etc. qui deviennent ainsi des instruments de contrôle. Le papier ozonométrique, bien préparé, est très sensible et rend compte de l'état de l'air ozonisé à de grandes distances; M. Houzeau a pu ainsi, à Rouen, pronostiquer un orage pour le lendemain, un jour que le papier *sentait* l'orage au Havre. L'ozone, étant la manifestation de l'oxygène actif, est donc, d'une façon incontestée, un agent d'oxydation très énergique et doit son action, suivant M. Berthelot, à cette circonstance qu'il agit (se détruit en détruisant) avec dégagement de chaleur. Il est certain que l'air fournit l'ozone; il est aussi le véhicule des miasmes, des vapeurs, des corpuscules, etc.;

l'ozone, dont l'intensité se révèle par le papier en question, se trouve en quantité variable selon le pays, l'altitude, le milieu, l'état hygrométrique de l'air, la nature des produits gazeux qui y flottent, etc.

L'humidité de l'air, qui pourrait fausser le degré à l'ozonomètre, se corrige par l'hygromètre. La proximité des plantes, et surtout des conifères, augmente la quantité d'ozone.

Pour obtenir des résultats efficaces, certains et vraiment scientifiques dans la mise en expérience du papier, il ne suffit pas qu'il soit bien préparé, ingénieusement disposé en expérience par un mécanisme d'horlogerie pour doser, pour ainsi dire, l'insaisissable ozone; il faut encore et surtout multiplier les stations d'observations, pour comparer les expériences et avoir des instruments comme ceux des observatoires météorologiques, si l'on veut arriver à un résultat absolument mathématique. De cette façon, on peut tenir compte des causes particulières d'erreur produites, par exemple, par le voisinage des fabriques, par des matières putrides, etc. Ces dernières sont combattues avec une heureuse énergie par l'ozone, qui se détruit à mesure qu'il agit.

L'acide carbonique n'a pas d'action sur l'ozone. L'ammoniaque, d'après une juste remarque de M. Houzeau, se nitrifie rapidement en présence de l'ozone. On ne saurait donc trop recommander, dans l'intérêt de l'exactitude des résultats, de multiplier les stations d'observations, puisqu'elles permettent d'établir un contrôle naturel et font voir, par l'absence ou la diminution de l'ozone sur l'échelle ozonométrique, où est l'endroit contaminé par les vapeurs viciées.

2° *Valeur du papier.*

Comme résultat hygiénique, elle est hors de conteste et résulte de l'action oxydante de l'ozone même sur les miasmes délétères de diverses matières qui, avec plus ou moins d'intensité, produisent leur effet dangereux mêlées à l'air et aux vapeurs qui les disséminent et les répandent. En résumé, le papier ozonométrique est un précieux moyen d'investigation, à la condition de l'avoir bien préparé, de multiplier les stations d'expérience, que les observations soient suivies avec le soin qu'on apporte dans les observatoires, et enfin qu'on consulte les instruments auxiliaires comme hygromètres, hypsomètres, papiers de tournesol bleu et rouge, papier d'acétate de plomb, etc. Alors on peut compter sur la fidélité et l'efficacité des observations. Je crois avoir prévu tout ce qu'on peut opposer. Si l'on disait encore que le chlore agit sur le papier, d'abord en en exagérant le degré, et ensuite en le détruisant, on peut répondre que le chlore ne se trouve qu'émané des fabriques de produits chimiques, et par conséquent n'est qu'un fait accidentel et anormal; que d'ailleurs, agissant à la façon de l'ozone, mais moins énergiquement, il n'y a pas à tenir compte d'un corps qui, lui-même, purifie l'air, et, dans tous les cas, les autres stations prouveront que c'est là un fait isolé, qu'il y a donc quelque chose et que l'exception confirme la règle. La perturbation produite sur le papier par cette anomalie appelle l'attention, engage à faire l'analyse de l'air, et c'est donc encore un service que rend le papier.

Vous savez que le papier de teinture alcoolique de gayac, préparé à l'obscurité, peut servir à déterminer la présence de l'ozone; mais jusqu'ici je ne vois pas qu'on l'ait utilisé beaucoup.

M. le Dr Bérigny rappelle que c'est lui-même qui, il y a vingt-trois ans, a fondé en France l'étude de l'ozone atmosphérique. Son échelle chromatique pour les papiers impressionnés comprend vingt et un tons, tandis que celle de Schœnbein n'en contenait que dix. Ces recherches sont certainement utiles, même à un point de vue purement météorologique; car dès 1865, M. Marié-Davy a montré que la coloration du papier amidonné est corrélative du passage

des bourrasques et des phénomènes orageux; elle les précède même. Depuis, M. Albert Lévy a fait à Montsouris de nombreux dosages chimiques de l'ozone et a cherché à établir une relation entre ces dosages et l'observation des papiers ozonométriques.

M. le Dr Bérigny termine en présentant une discussion de ses observations de 1877, où il met l'intensité de la coloration du papier ozonométrique en rapport avec diverses circonstances atmosphériques. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 15.)

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
ALFRED ANGOT.

2° SÉANCE DU SOIR DU 27 AOÛT 1878 (PALAIS DU TROCADÉRO).

PRÉSIDENCES DE M. SYMONS (ANGLETERRE), PUIS DE M. RAGONA (ITALIE).

SOMMAIRE. — Présentation des délégués des royaumes de Suède et Norwége, et de la Société d'agriculture de France. — MANGINI : Pluies de sable en Italie. — FAUTRAT : Influence des forêts sur les éléments météorologiques. — Abbé ROUGERIE, Dr DE PIETRA-SANTA, H. MANGON, SILBERMANN : Observations sur le même sujet. — TISSANDIER : Résultats obtenus dans les ascensions aérostatiques. — Commandant PERRIER, Dr BÉRIGNY, H. MANGON, HOFFMEYER : Réflexions sur cette communication. — BOUQUET DE LA GRYE : Formation des tourbillons dans les liquides. — G. LEMOINE : Annonce des crues de la Seine. — SYMONS : Remarques sur cette communication.

La séance est ouverte à 3 heures un quart. Le procès-verbal de la séance du lundi soir est lu et adopté.

Le ministre de Suède et Norwége en France annonce que son Gouvernement a désigné M. le professeur A. G. Ekstrand pour représenter la Suède, et M. le docteur Fredrik M. Wallem pour représenter la Norwége auprès du Congrès.

La Société centrale d'agriculture de France délègue MM. Edmond Becquerel et Barral pour la représenter auprès du Congrès.

M. SYMONS (Angleterre), président, s'adresse au Congrès en ces termes :

« Je vous remercie, Messieurs, de l'honneur que vous m'avez fait, ou plutôt que vous avez fait à mon pays en m'appelant à présider cette réunion. Mais je vous demande la permission de céder ma place à M. Ragona, qui parle le français beaucoup mieux que moi, et de vous remercier dans ma propre langue. »

M. Symons ajoute en anglais quelques paroles que le Congrès accueille par des applaudissements.

M. HERVÉ-MANGON ajoute ces mots : « M. Symons vient de dire que l'honneur

qui lui avait été fait s'adressait à son pays plutôt qu'à lui-même; je me permets d'ajouter que M. Symons a été trop modeste et que nous pensions tous adresser cet honneur à l'homme autant qu'au pays. » (Applaudissements.)

M. Ragona (Italie) prend le fauteuil de la présidence.

M. Mancini, directeur de l'observatoire de Modica (Sicile), envoie la note suivante sur les **Pluies de sable qui ont été fréquemment observées en Italie** :

On a observé cette année même en Sicile le phénomène de la pluie de sable, mais le phénomène s'est produit presque deux mois plus tard qu'à l'ordinaire. De plus, l'aspect du sable était différent et m'a conduit à soupçonner soit une autre origine, soit un mélange avec d'autre sable.

L'époque ordinaire de la pluie de sable est toujours vers la fin de février et le mois de mars, comme on peut le voir d'après les dates suivantes :

13 et 14 mars 1863, pluie de sable en Calabre, Toscane et Sicile.
20 février 1864, pluie de sable à Rome.
15 et 19 mars 1865, pluie de sable à Tunis.
1er mars 1866, pluie de sable à Rome.
23 et 26 mars 1869, pluie de sable à Catania.
10 mars 1872, pluie de sable à Modica.

Tous les ans, au mois de mars, on voit le sable tomber en quantité variable, et cette pluie est nommée par les paysans de Modica *sozzura* ou même *muffura*, parce qu'elle est souvent fatale à la végétation, car les grains très fins peuvent obstruer les stomates des feuilles. Cette année 1878, au contraire, la pluie est tombée le 2 mai, deux mois plus tard que d'ordinaire.

Les échantillons de sable que j'ai eu l'occasion d'examiner étaient tous d'une couleur rousse, et surtout ceux du sable qui tomba le 10 mars 1872, qui furent très abondants au point de donner au ciel une couleur rousse, d'obscurcir l'éclat du soleil qu'on pouvait fixer à l'œil nu.

Le sable de cette année (1878) était couleur de cendre et foncé, tirant sur le jaune et le rougeâtre, et tandis que celui de 1872, chauffé sur une lame de platine, ne changeait pas de couleur après la combustion des substances organiques, celui de 1878 rougissait sous l'action de la chaleur pour conserver ensuite cette dernière couleur. Je reconnus que ce changement de coloration était dû à la présence dans le sable de fer qui s'oxydait sous l'influence de la chaleur et prenait alors une teinte rouge.

Je n'ai pu analyser que le sable recueilli en 1872 et celui de cette année. Leur composition était la suivante :

	Sable de 1872.
Matières organiques	85
Silice	527
Phosphate de chaux	32
Carbonate de chaux	207
Alumine et oxyde de fer	70
Oxyde de magnésium	51
Sulfate de chaux, Chlorure de sodium	15
Perte	13
	1000

	Sable de 1878.
Matières organiques	30
Silice	500
Alumine et oxyde de fer	90
Carbonates de chaux et de magnésie	330
Nickel	30
Perte	20
	1000

Dans le sable de cette année, dont l'aspect et l'époque de chute étaient anormaux, j'ai donc constaté la présence du nickel allié au fer. Quelle est alors l'origine de ce sable ?

Le nickel se trouve dans la terre soit à l'état de sulfure, comme dans l'État de New-York, soit en pyrite magnétique de nickel comme en Piémont, en Espagne et en Écosse, soit en arséniure de nickel, qui est très répandu dans les filons qui traversent les terrains anciens; mais, à mon avis, ces composés ne peuvent se trouver dans les sables transportés par les vents du Midi.

J'ai également analysé le sable du Sahara dont j'ai reçu des échantillons par l'intermédiaire du regretté P. Secchi; mais il ne contient pas de nickel, comme le montre l'analyse suivante :

Sulfate de chaux, chlorures de sodium et de magnésium..........	23
Oxyde de fer, alumine, carbonate de chaux....................	17
Silice..	60
	100

Le sable tombé cette année doit donc avoir une origine différente.

La composition montre qu'il ne pouvait pas être le *moorrauch*, pas même une poudre volcanique. On pourrait le classer, d'après Ehrenberg, comme *hohenrauch*, si le hohenrauch était accompagné d'un dépôt de matières solides; mais ce brouillard n'est jamais accompagné du dépôt de matières, c'est là son vrai caractère.

On ne peut donc classer ce sable ni comme hohenrauch, ni dans les poussières volcaniques, ni dans les pluies de sable amenées par les vents du Midi.

En considérant la couleur de ce sable, l'époque de sa chute et la présence du nickel, on arrive forcément à lui attribuer une origine cosmique, à supposer qu'il provient de quelque météorite à l'état de poudre. Ceci est d'autant moins improbable que M. G. Tissandier (Comptes rendus de l'Académie des sciences, LXXXVI, pages 75-78), a déjà trouvé du nickel dans le limon atmosphérique.

La poussière tombée le 2 mars 1878 n'est donc pas la pluie de sable habituelle amenée par les vents du Midi et qu'on observe ici presque tous les ans, mais elle provient certainement de météorites, ce qui confirme l'idée déjà émise par M. Tissandier que dans le limon atmosphérique il y a aussi du *limon cosmique*, si l'on peut employer cette expression.

M. Fautrat, inspecteur des forêts, expose le résultat des observations comparatives qu'il a organisées dans le département de l'Oise, pour élucider l'**influence que des forêts de diverses essences peuvent exercer sur les éléments météorologiques.** Il a reconnu que la pluie était plus abondante au-dessus des massifs qu'en dehors de la forêt, et qu'en même temps la température était plus basse. Les effets sont plus marqués pour les bois résineux que pour les bois feuillus. Enfin, la fraction de la saturation de l'air est plus grande au-dessus des forêts que dans la plaine. L'auteur termine en déduisant de ces faits d'ingénieuses considérations sur l'importance des forêts. (V. annexe n° 12.)

M. l'abbé Rougerie insiste sur l'importance qu'il y aurait à bien évaluer la quantité d'eau retenue par les feuilles.

M. le docteur P. de Pietra-Santa est persuadé, comme M. Fautrat, que la quantité de pluie augmente par suite de la présence des forêts. Il croit que cette influence est démontrée, notamment :

1° Par ce qui s'est passé en Égypte, à l'isthme de Suez, d'après les affirmations de M. de Lesseps;

2° Par ce qui a été observé en Corse : depuis que les déboisements ont été opérés sur une grande échelle, la quantité de pluie diminue.

M. Hervé-Mangon dit qu'il est désirable qu'au lieu de parler en termes vagues de quantités de pluies qui augmentent ou diminuent on apporte devant le Congrès des chiffres précis.

M. Silbermann fait remarquer qu'il serait très important, dans les discussions de ce genre, de noter l'orientation des forêts par rapport aux vents pluvieux. Cette même influence de l'orientation se fait sentir en Suisse et dans d'autres pays pour les caractères des cours d'eau.

M. Gaston Tissandier expose les principaux résultats météorologiques qu'il a recueillis dans ses nombreuses **Ascensions aérostatiques.** Il traite successivement de la variation de température avec l'altitude, du vent, de la forme et de la constitution des nuages, de la formation de la neige, de différents phénomènes de météorologie optique, etc. (V. annexe n° 9.)

M. le commandant Perrier insiste sur l'importance qu'ont les observations de M. Tissandier au point de vue des mesures précises de l'astronomie et de la géodésie. Les difficultés qu'on rencontre, dans la journée surtout, à pointer des mires éloignées ou des étoiles viennent certainement de l'existence de courants atmosphériques supérieurs qui ne se manifestent pas directement aux observateurs placés à la surface du sol.

M. le docteur Bérigny dit qu'il est bien à désirer que l'on organise en France un système d'**Ascensions aérostatiques permanentes**, en ce sens qu'il formerait un observatoire aérien. Il n'est pas douteux que les observations terrestres n'aient besoin d'un complément que l'on ne peut trouver que dans l'atmosphère. Un ballon captif qui serait élevé plusieurs fois à des altitudes diverses lui paraît préférable pour ce genre d'observations, qui compléteraient ainsi celles non moins utiles des ballons libres.

M. Hervé-Mangon dit que M. Tissandier et ses amis espèrent pouvoir réaliser le vœu émis par M. Bérigny.

M. Hoffmeyer (Danemark), au nom des savants étrangers, félicite chaleureusement les aéronautes français de leur courage et les remercie de leur dévouement à la science.

M. Bouquet de la Grye expose et répète ses **Expériences sur la formation des tourbillons dans les liquides superposés.** Quand on superpose dans un même vase deux liquides de densité presque égale, puis qu'on fait tourner rapidement le vase et qu'on l'arrête tout d'un coup, les liquides contenus continuent à tourner avec des vitesses décroissantes vers la périphérie, à cause du frottement contre les parois du vase. On voit alors le liquide inférieur, le plus lourd, s'élever au centre en spirales remarquables; c'est l'exemple du tourbillon ascendant. On peut obtenir le tourbillon descendant avec d'autres liquides

plus légers, placés à la partie supérieure du vase. M. Bouquet de la Grye croit que dans l'atmosphère les faits doivent se passer d'une manière analogue et que, suivant le cas, on peut avoir des tourbillons ascendants ou descendants.

M. Georges Lemoine développe le **Système d'annonce des crues**, organisé sous la direction de M. Belgrand, pour la Seine et ses principaux affluents. Il explique comment les deux facteurs importants de ce genre de travail sont la connaissance géologique du bassin des fleuves et l'étude de la répartition des pluies. Il insiste enfin sur l'utilité des observations régulières sur les cours d'eau et montre que, dans les différents pays de l'Europe, elles présentent encore trop de lacunes. (V. annexe n° 13.)

M. Symons (Angleterre) partage l'opinion de M. Lemoine sur l'importance qu'ont les observations de la hauteur des cours d'eau, et regrette comme lui qu'elles n'aient pas été plus développées jusqu'à ce jour en Angleterre. Mais il est heureux d'annoncer au Congrès que, dans sa dernière et toute récente séance tenue à Dublin, l'Association britannique pour l'avancement des sciences s'est occupée tout particulièrement de cette question. D'après les résultats de la discussion, M. Symons considère comme très probable que, dans peu de temps, l'Angleterre aura pour ses cours d'eau un réseau d'observations régulières analogue à celui que M. Belgrand a créé pour la Seine.

La séance est levée à 5 heures et demie.

Le Secrétaire,
G. LEMOINE.

RÉUNIONS DU 28 AOÛT 1878.

1° SÉANCE DU MATIN (PALAIS DES TUILERIES).

PRÉSIDENCE DE M. BUYS-BALLOT (PAYS-BAS).

SOMMAIRE. — FAUTRAT : Météorologie forestière. — LOUVET, Dr BORIUS, Dr DAREMBERG : Études ozonométriques. — Dr DE PIETRA-SANTA, ZENGER : Remarques sur ces communications. — GUALY : Relations de l'ozone avec les bourrasques. — RENOU : Remarques sur cette communication. — Dr FINES, BUYS-BALLOT : Anémomètres. — HERCOUËT, HOFFMEYER, PLOIX : Sur l'indication de la vitesse du vent. — RITTER : Théorie de l'oscillation diurne du baromètre. — Abbé RICHARD : Diminution apparente des cours d'eau. — P. MARÈS : Réflexions sur cette communication. — MAÎTRE : Humidité du sol. — NOGUERRA-SAMPAÏO : Changement de la direction ordinaire du vent aux Açores. — HERCOUËT : Avertissement des tempêtes aux ports; DE TOUCHIMBERT, MASCART, amiral CLOUÉ, D'ARGENTRÉ : Remarques sur le même sujet.

La séance est ouverte à 9 heures un quart. Le procès-verbal de la séance du mardi matin est lu et adopté.

M. FAUTRAT, en réponse à une question qui lui avait été posée à propos de sa communication de la veille, fait remarquer que l'eau pluviale recueillie au-dessus des massifs boisés ne provient pas à la fois, comme l'auteur de la question semble le craindre, de la pluie tombée réellement et de celle qui, tombée sur le sol, s'évaporerait pour se condenser de nouveau au-dessus de la forêt. L'évaporation, en effet, met un temps important à se produire, et n'a guère lieu qu'après la pluie, alors que l'air n'est plus saturé de vapeur.

M. LOUVET lit une communication relative à l'**Étude de l'ozone** et aux papiers ozonométriques. Les résultats sont très peu comparables entre eux suivant que l'on emploie des papiers préparés différemment, ou même le même papier à des états différents d'humidité. (V. annexe n° 17.)

M. le Dr BORIUS constate que les indications attribuées à l'ozone sont exactement inverses de celles que donne l'évaporomètre Piche. Une part importante dans le phénomène du bleuissement des papiers ozonométriques est donc due à l'humidité de l'air. (V. annexe n° 16.)

M. DAREMBERG insiste sur l'inexactitude de tous les procédés de mesure de l'ozone. On ne sait pas encore à quel phénomène se rapportent les indications des papiers dits ozonométriques. Il lui semble donc inutile de continuer ces

observations tant que le problème ne sera pas défini scientifiquement. (V. annexe n° 18.)

M. le Dr DE PIETRA-SANTA dit que les études ozonométriques lui paraissent intéressantes, et que, si le bleuissement du papier ioduro-amidonné suit les indications de l'hygromètre ou de l'évaporomètre, cela ne prouve rien contre le papier ozonométrique, et montre seulement qu'il y a une relation entre l'ozone et l'humidité.

M. ZENGER (Autriche) dit que, dès 1860, il a reconnu que les indications des papiers ozonométriques peuvent varier de 50 p. 0/0 dans les mêmes circonstances.

Il indique la méthode qu'il a lui-même employée, et qui consiste à se servir de l'iodure d'ammonium (iodhydrate d'ammoniaque), au lieu d'iodure de potassium. Ce procédé lui aurait donné de bons résultats.

M. GULLY lit une note sur les indications ozonométriques fournies par le papier de M. Houzeau. Il résume les expériences qu'il a entreprises à Rouen, et termine par les considérations suivantes sur les **Relations entre les mouvements tournants de l'atmosphère et les manifestations de l'ozone.**

« En comparant la manifestation de l'ozone atmosphérique sur le papier de tournesol mi-ioduré de M. Houzeau, avec les différents phénomènes météorologiques existant les jours où ont lieu ces manifestations, on ne constate tout d'abord aucune relation entre ces deux ordres de choses. En effet, dans le courant d'une année, j'ai reconnu la présence de l'ozone par les hauteurs barométriques les plus variées, les vents de direction et d'intensité très différentes enfin les situations atmosphériques les plus contraires.

« Ayant néanmoins remarqué que les manifestations de l'ozone étaient toujours exagérées dans des conditions tout à fait semblables (mauvais temps par vents d'Est ou Sud-Est), je résolus de rechercher s'il existait une relation entre ces manifestations et les mouvements tournants de l'atmosphère.

« C'est ainsi que j'ai pu constater que chaque fois qu'un centre de dépression existait au Sud ou dans le voisinage de Rouen, le papier réactif se trouvait toujours très fortement bleui. Tels sont, par exemple, les cas qui se sont particulièrement présentés les 20 et 26 mars, 17 avril, 8 septembre et 2 décembre 1877.

« Toutes les autres manifestations observées en 1877 se sont de même généralement produites lorsqu'un centre de dépression existait dans le voisinage de Rouen ou étendait son action jusqu'à ce point.

« Mais c'est principalement dans la partie située au nord d'un pareil centre, que la coloration bleue du papier réactif est exagérée, et c'est là le côté important qui ressort de mes observations et que je signale à l'attention des météorologistes.

« Si l'on considère les mouvements tournants de l'atmosphère qui, après avoir traversé l'Océan, abordent l'Europe par l'Ouest, on voit dans la partie supérieure ou située au nord du centre, que la vitesse de l'air est la différence entre celles de translation du phénomène et de rotation autour du centre,

tandis que dans la partie Sud, la vitesse de l'air est la somme des deux précédentes.

« Les tourbillons à axe vertical descendant des parties supérieures de l'atmosphère, et dont l'étude a été faite par M. Faye, se comporteraient donc différemment, sous le rapport de la production de l'ozone, dans le côté maniable et celui dangereux, puisque la manifestation de l'ozone est d'autant plus prononcée que l'on se trouve davantage situé dans le premier de ces côtés.

« L'électrisation de l'air se fait probablement dans des conditions différentes, suivant qu'elle a lieu dans un côté ou dans un autre.

« La différence si marquée existant entre les manifestations de l'ozone dans les saisons d'été et d'hiver, trouverait aussi son explication; car en été, si les mouvements tournants de nos contrées sont moins prononcés qu'en hiver, par contre, ils abordent l'Europe plus au Sud, et nous nous trouvons par suite plus fréquemment soumis à l'influence du courant de la partie Nord.

« Notre savant concitoyen, M. Houzeau, avait déjà déduit, dans un remarquable mémoire à l'Académie des sciences, de ses observations personnelles de l'ozone, que le plus souvent la manifestation exagérée de cet agent est en relation étroite avec les grandes perturbations atmosphériques.

« Les résultats que je viens d'exposer confirment donc entièrement ceux obtenus par M. Houzeau, et nous exprimons le vœu sincère de les voir acquis d'une façon définitive à la science par l'observation, sur une vaste étendue, des manifestations ozonées, au sein de l'atmosphère. C'est principalement dans les postes situés au nord de l'Europe, qu'il conviendrait de faire ces observations. Là, en effet, on se trouverait plus fréquemment dans les conditions voulues pour voir si la présence de l'ozone se révèle plus sensiblement dans le voisinage d'un centre de dépression, et principalement dans la partie située au nord du centre du phénomène. »

M. Renou fait remarquer que le dernier fait signalé par M. Gully est connu depuis longtemps. Il a été observé dès 1865 par M. Marié-Davy.

M. le docteur Fines, de Perpignan, présente le **Compteur électrique pour anénomètre** qu'il a fait construire, et qui fonctionne avec succès dans plusieurs stations du département des Pyrénées-Orientales. On peut surtout le recommander pour sa simplicité, son petit volume et son bon marché.

M. Buys-Ballot (Pays-Bas) décrit l'**Anémomètre** qu'il a fait adopter dans les stations météorologiques de Hollande. Cet instrument donne à la fois la vitesse du vent et la pression qu'il exerce contre une surface verticale.

À propos de la mesure de la vitesse du vent, M. Hercouët rappelle que l'on emploie en France trois échelles différentes. On compte la force du vent, de 0 à 10 dans la marine, de 0 à 6 à l'Observatoire, et de 0 à 7 pour la Société météorologique. Il serait utile de s'entendre pour n'employer qu'une seule notation.

M. Hoffmeyer (Danemark) demande si la notation employée réellement dans la marine française est de 0 à 10 ou de 0 à 12.

M. Ploix répond que c'est l'échelle de 0 à 12 qui est recommandée et doit être employée dans les journaux spéciaux délivrés aux bâtiments pour qu'on y enregistre les observations météorologiques.

M. Hoffmeyer (Danemark) désire que l'échelle de 0 à 12 soit généralement adoptée sur mer. Elle offrirait l'avantage d'être exactement le double de l'échelle employée le plus généralement sur terre (de 0 à 6).

M. Ritter expose les idées suivantes sur une **Application des cartes synchroniques des températures et des pressions à la théorie de l'oscillation diurne du baromètre :**

« M. Hoffmeyer (Danemark) a observé l'existence à peu près constante, sur les cartes des isobares moyennes, de minima bien caractérisés au-dessus des océans, des mers et des grandes nappes d'eau intérieures.

« Il indique comme une cause principale de la faiblesse relative des pressions sur les mers les différences de température de ces mers et des continents voisins.

« Ces observations montrent le grand intérêt, la nécessité même qu'il y a d'accompagner toujours les cartes de pressions barométriques des cartes des températures synchroniques dont le rapprochement montre probablement que c'est à la variation de température que l'on doit accorder la priorité dans les explications des mouvements de l'atmosphère. Sans jamais perdre de vue qu'à l'intérieur des courants il existe dans les pressions des différences nécessaires, conséquences et non point causes du mouvement; ces différences dépendent à la fois du mode de distribution locale des températures dans les divers profils transversaux des courants et ensuite de la valeur absolue et relative des vitesses, vitesses qui sont en relation avec les frottements que l'air exerce sur lui-même et ceux qu'il éprouve à des degrés si différents à la surface horizontale des mers et sur les aspérités de toute nature du continent.

« Mais si la comparaison des cartes des synthermes et des symbares s'impose pour l'explication des mouvements de translation de l'atmosphère, nous venons la recommander aussi comme le moyen d'arriver à élucider peut-être la question si intéressante de l'oscillation diurne du baromètre, question d'autant plus intéressante que l'on peut prévoir que, à l'explication de l'oscillation diurne du baromètre se rattachera celle de l'oscillation diurne de ceux des autres phénomènes qui présentent, comme la pression, cette particularité d'une succession régulière dans la période diurne de deux ou plusieurs maxima.

« Voici du reste le principe fort simple d'une explication que nous avons proposée dans un mémoire adressé à la Société météorologique de France en 1864.

« Sur une sphère homogène, tournant devant le soleil, on ne trouverait à un moment quelconque qu'un seul maximum et un seul minimum simultanés de température; il n'y aurait donc simultanément qu'un seul centre d'expansion et un seul centre de contraction atmosphérique et l'atmosphère n'éprouverait, dans les vingt-quatre heures, à chaque point du globe, qu'une seule grande pulsation se traduisant, pour le baromètre, par un minimum et par un maximum uniques.

« Mais sur la terre, en raison du mode de configuration des mers et des continents, les choses se passent tout différemment.

« La disposition des synthermes y change incessamment et, à un moment donné, il peut y avoir à la surface du globe deux ou plusieurs zones simultanées de température maxima, disparaissant à un autre moment, par suite de la déformation progressive des synthermes pour se reproduire ensuite après une période de vingt-quatre heures.

« Si l'on songe maintenant que, dans son mouvement diurne, la terre présente au soleil successivement deux continents et deux océans grossièrement limités suivant des lignes méridiennes, on conçoit qu'à ces quatre positions singulières du globe correspondent deux périodes de dilatation relative séparées par deux périodes de contraction se traduisant précisément par une double ondulation diurne dans la courbe barométrique.

« Quant au mécanisme de ce mouvement, rejetant l'idée habituelle d'un exhaussement de l'atmosphère par dilatation verticale sans déversements latéraux, nous le chercherions plutôt dans une véritable oscillation de l'air dans le sens des parallèles, oscillation dont la vitesse dépendrait des différences de température des méridiens consécutifs dans l'amplitude de la longueur des parallèles; elle se manifesterait en outre par un faible vent local alternativement de l'Est ou de l'Ouest, mais qui disparaîtrait comme une composante de peu d'importance dans les vents proprement dits.

« Les conséquences de notre hypothèse semblent d'accord avec l'observation.

« Ainsi, les heures tropiques des maxima et minima ne doivent pas être équidistantes, mais présenter une distribution en rapport avec celle des continents et des mers dans le sens de l'Ouest vers l'Est.

« Les heures tropiques doivent varier avec les saisons comme les synthermes dont elles dépendent.

« Des mers intérieures, des déserts peuvent par la déformation constante qu'ils impriment aux synthermes, déterminer un ou plusieurs maxima locaux périodiques et caractéristiques.

« Les maxima et minima ordinaires peuvent devenir moins sensibles sous les parallèles où le contraste des mers et des continents est moins tranché comme dans les régions polaires. Enfin on peut prévoir que l'ondulation diurne doit s'affaiblir dans les régions supérieures de l'atmosphère.

« Des remarques analogues s'appliquent à l'oscillation annuelle, qui doit éprouver aussi, dans sa loi générale d'un minimum et d'un maximum correspondant respectivement aux saisons chaudes et froides, des perturbations locales accusées par l'apparition constante de maxima et de minima singuliers.

« Il nous a semblé qu'il y avait là un sujet de bien intéressantes recherches à signaler aux savants qui, ayant en mains des documents suffisants, seraient en outre doués de cette patience et de ce dévouement vraiment admirables sans lesquels on n'ose pas aborder le laborieux travail de pareilles coordinations. »

M. l'abbé Richard lit une note sur **les variations apparentes et la diminution des cours d'eau.** Dans beaucoup de parties de la France, la source des

rivières s'est déplacée dans le sens du courant, diminuant ainsi la longueur totale du cours d'eau; mais souvent la rivière existe alors à l'état souterrain dans son ancien parcours. (V. à la suite du procès-verbal, annexe n° 14.)

M. P. Marès indique des phénomènes semblables dans le Sahara, et les attribue à l'élévation successive du sol par suite des dépôts de sable amenés par les vents.

M. Maître adresse de Saissac (Aude) une lettre intéressante sur la **Quantité d'eau que doit contenir le sol, pour que les végétaux prospèrent.** Nous extrayons de cette lettre les passages suivants :

1° Il ne suffit pas de connaître la quantité d'eau qui tombe dans un pays; il est surtout essentiel de connaître la manière dont cette eau est absorbée par le sol. Il convient donc d'avoir, dans les observatoires, des appareils pour constater la quantité d'eau qui pénètre dans le sol. Il faudrait aussi faire les essais ci-dessus sous un bois et en dehors d'un bois.

Pour que la météorologie pût rendre de très grands services à l'agriculture, il faudrait faire connaître tous les quinze jours ou tous les mois la quantité d'eau contenue dans le sol, à 5 centimètres de profondeur, à 50 centimètres et enfin à une profondeur plus grande. On saurait de cette manière si les plantes souffrent ou non du manque d'eau.

Cette étude, très simple et qui donnerait d'excellents résultats, est beaucoup trop négligée.

Dans le midi de la France, dans la commune de Villeneuvette (Hérault), j'ai constaté que, vers le commencement du mois d'août 1878, la vigne était obligée de vivre dans des terrains qui ne renfermaient pas, à 50 centimètres de profondeur, 6 p. o/o d'eau. C'est une quantité qui est bien loin d'être suffisante.

Si des observations semblables à celles que je viens d'indiquer avaient été faites d'une manière régulière depuis dix ou douze ans, la véritable cause de la maladie de la vigne serait connue depuis longtemps. Pour nous, cette cause principale est la sécheresse. La vigne ne reçoit pas assez d'eau ou, du moins, cette eau ne lui arrive pas d'une manière assez régulière; elle souffre et par suite elle se laisse attaquer plus facilement par le phylloxéra; le phylloxéra se propage alors plus vite et fait beaucoup plus de ravages dans un milieu sec et chaud.

2° Le Congrès international de météorologie devrait insister auprès du Gouvernement pour demander le reboisement ou le gazonnement des montagnes, surtout dans le midi de la France et en Algérie.

3° Il conviendrait de faciliter la création de canaux et la construction de grands réservoirs dans les montagnes.

Le climat du Midi devient de plus en plus sec, et toutes les cultures sont aujourd'hui presque impossibles sans eau. Nous devrions donc entrer dans la voie dans laquelle viennent d'entrer les Italiens en créant des canaux pour l'irrigation.

La météorologie est la science la plus utile, la plus ancienne, mais la plus arriérée, et cependant c'est celle qui doit rendre les plus grands services à l'agriculture; je voudrais donc voir voter des subventions pour faire faire des études météorologiques dans tous les villages.

A la suite de cette communication, une discussion s'engage sur les changements apparents que l'on croit être survenus dans le climat d'un pays. Beaucoup de ces changements sont certainement imaginaires, comme, par exemple, l'augmentation de pluie, que l'on suppose souvent suivre le défrichement d'un

pays. Quelques-uns de ces changements sont cependant réels, et M. Angot donne à ce propos lecture des questions suivantes, adressées au Congrès par M. le docteur J.-A. Noguerra Sampaïo, directeur du poste météorologique d'Angra (îles Açores) :

1° Peut-on déterminer la cause de la disparition des tempêtes, jadis si fréquentes pendant l'hiver aux îles Açores, et dont la direction était toujours du S. E. au N. O. (la dernière tempête de ce genre a eu lieu le 10 janvier 1860)?

2° Quelle est la cause du changement dans la direction des vents depuis quelques années dans les Açores? Étant très fréquents autrefois du S. O. au N. O., ils sont devenus rares de ce côté et soufflent aujourd'hui le plus souvent du N. E. au Sud.

M. Hercouët indique que le vent possède dans la journée, à Saint-Malo, une régularité comparable à celle que l'on n'observe d'habitude que dans les tropiques, au Brésil, par exemple. Il se plaint ensuite du peu d'exactitude des prévisions de tempête que l'on affiche maintenant dans les sémaphores des côtes françaises de la Manche.

M. de Touchimbert remarque qu'il est impossible de faire des prévisions spéciales pour chaque point particulier. La dépêche quotidienne doit être conçue en termes généraux et interprétée dans chaque pays au point de vue local.

M. Mascart fait observer que les dépêches adressées aux sémaphores ne proviennent pas du bureau central météorologique de France.

M. l'amiral Cloué dit que ces annonces de tempêtes sont envoyées d'Angleterre, comme du temps de l'amiral Fitz-Roy, et transmises sans modification aux sémaphores.

M. d'Argentré demande à M. Hercouët quelques détails sur les vents dont il a parlé pour Saint-Malo.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
Alfred ANGOT.

2° SÉANCE DU SOIR DU 28 AOÛT 1878 (PALAIS DU TROCADÉRO).

PRÉSIDENCE DE M. HOFFMEYER (DANEMARK).

SOMMAIRE. — MILLET : Météorologie forestière. — H. MANGON : Observations anémométriques horaires faites à Paris, de 1861 à 1866. — RENOU : Sur la température de l'air et la différence de température entre des points voisins. — H. HILDEBRANDSSON, MONTAGNOUX : Abris thermométriques. — J. COLLINS : Tempêtes qui traversent l'Atlantique. — BUYS-BALLOT et COLLINS : Observations sur le même sujet. — L. TEISSERENC DE BORT : Baromètre anéroïde à miroir. — ALLUARD : Variations nocturnes de la température à la base et au sommet du Puy-de-Dôme. — R. P. DENZA, colonel GOULIER : Observations sur cette communication. — PRESTEL : Inversion de la température avec la hauteur. — MONTIGNY : Variations verticales de la pression atmosphérique avec le vent. — Colonel GOULIER : Remarques sur cette communication. — CAVALIER : Pluie à Ostende. — HOFFMEYER : Clôture du Congrès.

La séance est ouverte à 2 heures et demie. Le procès-verbal de la séance du mardi soir est lu et adopté.

M. MILLET expose qu'il a fait en forêt un grand nombre d'observations météorologiques venant confirmer les résultats obtenus dans le département de l'Oise par M. Fautrat. Il a constaté l'humidité que développent les massifs de bois résineux, et les gelées printanières que produit, dans le voisinage des pins, l'action frigorifique du massif.

M. HERVÉ-MANGON dépose sur le bureau le **Recueil d'observations anémométriques horaires faites à Paris de 1861 à 1866.** Ces observations, faites avec le plus grand soin, forment la série anémométrique la plus ancienne qui existe en France.

M. RENOU fait connaître le résultat de ses **Recherches sur la température de l'air et de la différence de la température entre des points voisins.** Il démontre que les déterminations thermométriques faites au milieu des villes n'ont aucune valeur climatologique et cite des chiffres qui le prouvent d'une manière évidente. Ainsi, à l'Observatoire de Paris, le thermomètre n'est jamais descendu à 0° pendant le mois de mai, alors que, dans cette saison, les gelées sont fréquentes à la campagne. M. Renou établit que la forme du sol produit de grandes différences entre les températures extrêmes de points assez voisins; mais les moyennes de bonnes observations sont remarquablement concordantes.

Pour avoir des résultats sérieux, il faut opérer en pleine campagne, sur des plateaux, et placer les thermomètres à 2 mètres au-dessus d'un sol gazonné, en les abritant au midi sous un double abri en zinc. Il faut encore à ces observations une très minime correction que l'on déterminera par des observations faites au moyen du thermomètre fronde. (V. annexe n° 10.)

Après cette communication, M. Angot dépose sur le bureau diverses pièces que le temps empêche de lire.

Ce sont :

1° Une lettre de M. H. Hildebrandsson, qui envoie la photographie des **Abris thermométriques** qu'il emploie à Upsal. Ce sont des cabanes en bois, placées autant que possible au-dessus de gazons et fermées de toutes parts par des jalousies en bois. L'une est double, l'autre simple.

Dans la cage à parois simples, les thermomètres sont placés à $1^m,50$ au-dessus du gazon, et leur marche ne semble pas influencée par l'abri. Dans la cage double, au contraire, la marche des thermomètres est un peu ralentie pendant les variations brusques de température. L'exposition de thermomètres adoptée à Montsouris par MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Renou, très bonne, sans doute, dans un pays plus méridional, n'est guère possible en Suède, où le soleil est très près de l'horizon et, en été, droit au Nord.

2° Une lettre de M. A. Montagnoux, professeur de physique à Melan, par Tanninges (Haute-Savoie), et dont nous extrayons le passage suivant :

J'ai fait sur le sujet des abris thermométriques des recherches minutieuses qui m'ont conduit à établir comme il suit mes thermomètres :

Deux grosses poutres plantées en terre à 1 mètre de profondeur, et à la distance l'une de l'autre de 1 mètre, portent une persienne au Nord et une au Sud, distantes l'une de l'autre de 12 à 14 centimètres. En avant de la première et plus au Nord encore, est un cadre de planchettes minces devant lesquelles est un treillis en fil de fer. Dans ce cadre sont les thermomètres, le psychromètre d'August au milieu, et près de lui les réservoirs des thermomètres à maxima et minima. L'eau du psychromètre est à une certaine distance des thermomètres et arrive par un petit tube qui lui permet de mieux prendre la température de l'air ambiant. À droite et à gauche, ou plutôt à l'Ouest et à l'Est sont deux grandes persiennes à palettes écartées qui laissent bien circuler l'air et empêchent le soleil de venir sur la cage intérieure. Enfin en haut est un petit toit pour préserver de la pluie.

Cette installation me paraît avoir de vrais avantages : 1° elle n'est pas dispendieuse, car tout compté : travail du bois, pose, vernissage, elle ne dépasse pas 50 francs; 2° elle est plus solide que celle de Montsouris; 3° elle n'a pas besoin d'avoir des plantations d'arbres dans son voisinage; 4° elle n'entretient pas, comme les arbres, une humidité qui fausse les indications hygrométriques; 5° il n'est pas nécessaire d'attendre plusieurs années un ombrage de feuillage sur lequel, du reste, on ne peut compter qu'en été; 6° surtout, elle permet facilement l'uniformité d'installation dans tous les pays. D'autre part, il est clair que la chaleur de la cage n'influe pas sur les thermomètres, car ceux-ci sont séparés de la persienne antérieure, qui ne reçoit du reste jamais le soleil; en outre, la persienne du Sud est séparée de celle du Nord et ne reçoit le soleil que de 10 heures à 2 heures, à cause des persiennes de côté qui dépassent en arrière. L'air circule librement. Cependant il y a bien un petit échauffement de la cage. Il ne produit un effet sensible qu'après le coucher du soleil, mais cet inconvénient serait le même pour tous les observatoires et pourrait être supprimé par une petite ventilation avant l'observation du soir.

Passons à la question suivante : Quelles sont les heures d'observation que l'on pourrait recommander, etc.?

Dans les observatoires complets, on a des instruments enregistreurs et on les contrôle par les observations trihoraires de 6 heures à 9 heures, etc.

Il me semble qu'en France il reste trop de distance entre ces observations multipliées et les observations des petites stations, où l'on se contente du maximum et du minimum.

Des observations nombreuses m'ont permis de conclure que la température moyenne est fournie avec beaucoup d'approximation par les observations de 6 heures du matin, midi, et 8 heures un quart du soir, et ceci se trouve encore vrai pour la moyenne hygrométrique. Pour le prouver, il me suffira de citer quelques chiffres; si l'on désire plus de détails, je suis prêt à les donner. Mes calculs sont basés sur les observations de Genève, pour neuf ans; en voici le tableau pour la moyenne annuelle. La ligne *m* donne la moyenne calculée par M. Plantamour; la ligne *m'* celle que j'ai calculée sur les observations de 6 heures du matin, midi et 8 heures du soir; la ligne *d* indique l'excès de ma moyenne sur celle de M. Plantamour, déduite des observations bihoraires.

DÉSIGNATION des MOYENNES.	ANNÉES									MOYENNE des 9 années.
	1862.	1864.	1865.	1867.	1870.	1871.	1872.	1873.	1876.	
m.	10°30	9°08	10°10	9°96	9°59	8°88	9°41	10°21	9°33	9°651
m'.	10 26	9 07	10 07	10 01	9 57	8 90	9 44	10 17	9 39	9 653
d	— 0 04	— 0 01	— 0 03	+ 0 05	— 0 02	+ 0 02	+ 0 03	— 0 04	+ 0 06	+ 0 002

On voit par ce tableau que les écarts sont insignifiants, mais ils sont plus sensibles dans les moyennes mensuelles, qui tendent à être un peu au-dessus de la vérité; voilà pourquoi je propose 8 heures un quart plutôt que 8 heures du soir. Du reste, jamais l'écart n'atteint un demi-degré. Il en est de même pour la fraction de saturation, où l'écart maximum a été trouvé de 4 millimètres.

En présence de ces résultats, il semble qu'on pourrait à bon droit établir des stations secondaires chargées de trois observations à 6 heures du matin, midi et 8 heures du soir; elles auraient du reste des thermomètres à maxima et à minima, qui cependant ne seraient pas obligatoires. Elles devraient surtout noter non seulement la marche des orages, mais celle des pluies et des neiges, et enfin les vents des nuages qui ont une bien plus grande importance que ceux des girouettes.

M. Jérome Collins (de New-York) expose la théorie d'après laquelle il envoie d'Amérique les **Prévisions des tempêtes qui doivent atteindre les côtes d'Europe après avoir traversé l'Atlantique.** Le service est fait dans les bureaux du *New-York Herald* par M. J. Collins, grâce à l'amour de la science que manifeste si largement le propriétaire du journal, M. J. Gordon-Bennet.

M. Collins, pressé par le temps, expose rapidement ses idées en anglais et est interprété par M. Angot.

D'après M. Collins, les bourrasques qui arrivent d'Amérique sur l'Atlantique sont les unes sèches, quand elles proviennent directement de l'Ouest, après avoir traversé les montagnes Rocheuses; les autres humides, quand elles viennent du Sud ou du Sud-Ouest, du golfe du Mexique. Rencontrant les courants aériens très humides qui surmontent le Gulf-stream, et suivant à peu près son cours, les premières de ces bourrasques trouvent sur place tout ce qu'il leur faut pour se renforcer et pour traverser l'Atlantique, voyageant dans les concavités de

la zone de hautes pressions qui couvre généralement le centre de l'Atlantique.

M. Collins termine en signalant les dépositions d'un grand nombre de capitaines des steamers qui traversent l'Atlantique, et qui tous sont favorables à l'opinion que les tempêtes traversent l'Atlantique en se dirigeant vers l'Europe. (V. annexe n° 5.)

M. Buys-Ballot, tout en rendant justice aux efforts de M. J. Collins, dit que d'après une statistique de M. R. Scott, moins de la moitié des prévisions du *New-York Herald* se seraient réalisées. Tout en étant plus favorable que M. Rob. Scott aux idées de M. Collins, M. Buys-Ballot estime que des prévisions non justifiées peuvent être fâcheuses pour le commerce en retardant le départ de nombreux vaisseaux. Il faut donc dans ces grandes prédictions user de grande prudence.

M. Collins remet à M. Buys-Ballot une statistique basée sur des documents plus complets que celle de M. Robert Scott et d'où il résulte que le nombre des prévisions réalisées est beaucoup plus grand.

M. Léon Teisserenc de Bort décrit en ces termes une **Nouvelle forme de baromètre anéroïde** qu'il a imaginée:

« J'ai l'honneur de vous présenter un baromètre anéroïde de précision, construit d'après mes indications, par M. Rédier.

« Ce baromètre se distingue des autres parce que la lecture se fait en regardant dans un miroir l'image d'une échelle verticale placée à une certaine distance. La boîte où l'on a fait le vide porte une pointe métallique qui fait tourner un miroir monté sur un axe.

« On conçoit que, si l'on fixe la position de l'œil en regardant le miroir, les mouvements de la boîte, correspondant aux variations de pression, se traduisent par un changement dans la position du trait qui coïncidait avec l'axe du miroir. Pour fixer la position de l'œil et pour grossir les divisions de l'échelle, on regarde l'image à l'aide d'une petite lunette qui porte un réticule, lequel sert de repère.

« Il résulte de ces dispositions que l'on ne demande à la boîte qu'un travail mécanique insignifiant, savoir : faire tourner un petit miroir d'un angle qui n'excède pas 12 degrés de chaque côté de la verticale, pour une variation de 14 centimètres de mercure dans la pression. De plus, comme il n'y a aucun renvoi de mouvement, que tout se borne à un renvoi de rayons lumineux, l'inertie, les temps perdus du mécanisme ordinaire sont supprimés. Il ne reste que les imperfections de la boîte, imperfections qui jusqu'ici étaient augmentées de celles des chaînes, leviers coudés, etc., destinés à faire tourner l'aiguille du cadran.

« Je croyais avoir eu le premier l'idée d'appliquer la lecture dans un miroir aux anéroïdes, lorsque j'ai appris, une quinzaine de jours après l'achèvement du premier de ces instruments, que M. le docteur Röntgen avait appliqué ce principe à un anéroïde à boîtes multiples destiné à des recherches physiques.

« L'instrument de M. Röntgen est destiné à l'étude des variations de pression infiniment faibles, les procédés de lecture sont multiples et délicats, en un mot ce n'est pas un instrument d'observation courante.

«Le but que je me suis proposé, c'est de réaliser un baromètre anéroïde de précision pour les observations marines. On sait en effet que les baromètres à mercure employés sur mer sont très paresseux et qu'il est presque impossible de les observer par les gros temps. Leur prix est presque double de celui de l'instrument que j'ai l'honneur de vous présenter et leur installation demande une suspension particulière.

«Il en résulte que, si l'on peut arriver à construire des anéroïdes dont les erreurs ne dépassent pas 1/4 de millimètre et qui soient d'une lecture facile, ils pourront rendre de grands services pour l'observation en mer. Le dispositif que j'indique remplira, je l'espère, ces conditions. Les instruments que je mets sous les yeux du Congrès ne sont pas encore complètement réglés; mais lorsque nous aurons un modèle courant, chaque instrument sera numéroté et sa marche sera étudiée avant d'être livré à des observateurs.»

M. Alluard donne lecture d'un mémoire sur les **Variations nocturnes de la température à la base et au sommet du Puy-de-Dôme.** Pendant la nuit, la décroissance de la température suit une loi toute différente de celle du jour. Souvent la température augmente avec l'altitude, au lieu de diminuer. Cela montre combien il est important d'étudier couche par couche l'état de l'atmosphère. Dans ce but, une station de deuxième ordre a été établie sur le Puy-de-Dôme, à mi-hauteur entre la base et le sommet. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 11.)

Le R. P. Denza (Italie) dit que l'inversion de température signalée par M. Alluard a été fréquemment constatée par des ascensions aérostatiques et dans les stations météorologiques du nord de l'Italie. C'est M. Plantamour qui a le premier mis ce fait en évidence. Toutefois, cette inversion cesse complètement dès qu'on dépasse une altitude de 1,000 mètres.

M. le colonel Goulier rappelle que les observations faites dès 1861, à Montpellier, par M. Ch. Martins, ont permis de constater cette inversion sous un climat bien différent de ceux des stations dans lesquelles on avait fait antérieurement des observations semblables.

M. Angot dépose sur le bureau une note de M. le professeur Prestel (en allemand) ayant rapport au même sujet.

M. Renou donne de ce mémoire l'analyse suivante :

«M. Prestel a publié en 1871 dans le *Bulletin de la Société des sciences naturelles* d'Emden (*Kleine Schriften der Naturforschenden Gesellschaft*) un article dont le titre est : Sur la distribution de la température dans la couche la plus inférieure de l'atmosphère.

«M. Prestel cherche à prouver que l'on s'est trompé en appliquant à la couche de l'atmosphère, tout près du sol, la loi reconnue pour les grandes hauteurs; il pense que d'abord le sol est plus froid que l'air qu'il supporte et puis que dans cette couche d'air à quelques mètres du sol la température commence à croître avec l'altitude.

«Pour prouver cette proposition, M. Prestel cite les observations qu'il fait

depuis 1858 à Emden à son domicile situé dans une partie de la ville où les constructions sont un peu clairsemées, il donne les températures moyennes mensuelles à 1 pouce du sol et celles de deux thermomètres situés l'un à $3^m,60$ du sol et l'autre à $9^m,20$.»

Nous donnons ici le résumé de ces observations.

RÉSUMÉ DES TROIS SÉRIES, 1858-1867.

	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOÛT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	ANNÉES.
à $0^m,03$	-0,39	0,69	2,71	6,64	10,74	14,47	15,73	15,66	12,81	9,10	4,02	1,54	7°,81
$5^m,60$	0,14	1,20	3,39	7,47	11,84	15,62	16,92	17,04	14,00	9,91	4,52	1,89	8,66
$9^m,20$	0,42	1,64	4,47	8,61	13,31	17,26	18,49	18,81	15,50	10,96	4,97	2,31	9,74

M. Montigny, membre de l'Académie des sciences de Bruxelles, présente des considérations sur la **Variation verticale de la pression atmosphérique avec la vitesse et la direction des vents.** A la suite d'observations faites pour déterminer, à l'aide du baromètre, la hauteur de la tour de la cathédrale d'Anvers, en se servant de la formule de Laplace, il a trouvé des résultats variant avec la vitesse et la direction du vent. Il en conclut que les vents ont une action notable sur la pression atmosphérique et que, lorsqu'ils soufflent, la formule de Laplace n'est plus applicable. (Voir à la suite du procès-verbal, annexe n° 23.)

M. le colonel Goulier fait suivre cette communication des remarques suivantes:

J'ai lu en leur temps, avec le plus grand intérêt, les observations que M. Montigny a publiées dans les Mémoires et les Bulletins de 1860, 1861 et 1866 de l'Académie royale de Belgique. Elles m'ont paru avoir une réelle importance pour la théorie du nivellement barométrique; car elles montrent que les anomalies constatées souvent sur de grandes différences de niveau se produisent encore sur de petites différences de hauteur, ce que l'on pouvait prévoir, en remarquant que la formule du nivellement barométrique suppose, pour l'atmosphère, un *état statique*, qui est bien différent de l'*état dynamique* existant le plus souvent au moment des observations.

A l'appui des idées de M. Montigny sur la diminution de pression due au mouvement de l'air, on pourrait signaler des expériences de laboratoire telles que la suivante :

Pour étudier les appareils de ventilation à appliquer à la salle du Trocadéro, MM. Genest et Herscher ont établi en avant d'un ventilateur de 2 mètres environ de diamètre une gaine de même rayon et de 10 mètres de longueur, formée de toiles tendues sur des châssis. Or, chaque fois que le ventilateur

refoulait un courant d'air dans cette gaine, on voyait les parois de celle-ci se déprimer et accuser, par suite, un excès de la pression extérieure sur la pression intérieure de la colonne d'air en mouvement.

Des phénomènes analogues, quoique moins sensibles, ont lieu pour l'air en mouvement dans les tuyaux d'un poêle. On le sait, en effet, quand le tirage est établi, loin que la fumée sorte par des ouvertures percées accidentellement dans les tuyaux, c'est l'air ambiant qui est aspiré par ces ouvertures.

Ces exemples semblent confirmer les idées émises par M. Montigny. Toutefois, je vois une grande différence dans les conditions de mouvement d'une colonne d'air enfermée dans un conduit solide et celle du vent. Aussi, pour admettre qu'une diminution de la pression barométrique pût être regardée comme une *conséquence directe de la vitesse de l'air* dans lequel le baromètre est plongé, je désirerais avoir, soit une explication théorique de ce phénomène, soit des expériences faites dans des conditions telles que des différences de pression ne puissent pas être expliquées par d'autres causes.

Or, pour les expériences faites par M. Montigny au pied de la flèche de la cathédrale d'Anvers, et à 104 mètres de hauteur dans cette flèche, on peut remarquer que, après s'être épanoui sur la place triangulaire qui précède cette cathédrale, le vent d'Ouest venant à rencontrer la façade de l'édifice, ses filets inférieurs éprouvent un ralentissement qui doit être accompagné d'une augmentation de pression au pied de la tour, tandis que les filets supérieurs sont déviés par l'obstacle opposé à leur mouvement, de telle sorte qu'ils prennent tous une direction ascendante, grâce à laquelle ils diminuent le poids des couches qui leur sont superposées, en déterminant ainsi une diminution de pression sur la cuvette du baromètre. Ces deux effets inverses, augmentation de la pression en bas et diminution en haut, auront pour effet d'accroître la différence de niveau calculée en fonction des pressions observées, précisément comme M. Montigny l'a trouvé.

On peut donc craindre que les discordances qu'il a constatées ne soient dues, au moins en grande partie, à ces causes dont il pourrait constater l'influence, s'il voulait bien faire des observations complémentaires, par des vents d'Ouest forts, sur des baromètres placés presque au même niveau, l'un au pied de la flèche, l'autre derrière le chevet de l'église et le troisième en un lieu découvert où le courant d'air n'éprouvât aucune gêne dans son mouvement. Si j'en crois les observations simultanées que j'ai faites par un vent d'Ouest, sur la face Est et sur la face Ouest d'un bâtiment à un seul étage, il devra trouver des différences notables pour les trois pressions ramenées au même niveau.

Il est presque inutile d'ajouter que la direction de la pente du terrain sur lequel est installé un baromètre doit, pour des raisons analogues, avoir une influence notable sur la valeur de la pression qu'on y observe, par des vents plus ou moins forts.

M. Angot dépose sur le bureau la note suivante de M. Cavalier, professeur à l'École de navigation de l'État, à Ostende (Belgique), relative à la **Quantité d'eau qui tombe à Ostende :**

De tous les éléments météorologiques, celui de la quantité d'eau qui tombe sous forme de pluie, de grêle ou de neige, est un des plus inconstants; car tout ce que l'on sait y établir de précis est que dans tel lieu, à certaine époque, telle quantité d'eau a été recueillie.

Les grandes averses qui parfois se présentent et qui constituent un assez fort contingent, sont fortuites et locales, provenant d'une condensation subite et rapide de la vapeur.

Nonobstant, une série étendue d'observations peut nous fournir des données pour pouvoir faire des comparaisons plus ou moins pratiques. C'est dans cette idée que j'ai dressé les tableaux de seize années d'observations, 1862 à 1877, faites par moi dans cet endroit.

Tableau indiquant en millimètres les valeurs mensuelles et annuelles d'eau recueillie à Ostende et le nombre de jours où la quantité tombée a été appréciable, déduits de seize années d'observations, 1862-1877.

MOIS.	MOYENNES		MAXIMA.		MINIMA.		MAXIMA D'EAU recueillie en 24 heures.	
							Maxima absolus.	Moyenne des maxima.
	mm.	jours.	mm.	jours.	mm.	jours.	mm.	mm.
Janvier	55,9	16,0	108,9	27,0	20,8	3,0	17,8	11,6
Février	38,8	13,7	74,8	24,0	11,2	5,0	23,5	9,9
Mars	46,7	16,3	93,1	26,0	19,5	7,0	23,8	11,3
Avril	36,1	12,1	73,3	20,0	10,2	4,0	31,1	11,4
Mai	46,3	12,0	129,6	20,0	17,2	6,0	41,0	15,9
Juin	42,5	11,0	75,2	18,0	12,7	5,0	37,6	13,9
Juillet	53,5	11,4	171,9	21,0	7,7	3,0	37,8	15,0
Août	68,8	13,9	127,0	24,0	31,3	5,0	48,6	21,9
Septembre	66,0	13,3	127,4	22,0	0,8	2,0	26,3	14,0
Octobre	68,0	15,3	126,0	22,0	15,7	6,0	39,7	17,2
Novembre	73,4	16,8	192,3	24,0	28,6	9,0	66,7	20,0
Décembre	55,7	16,6	138,7	26,0	8,8	6,0	30,2	11,7
Année	451,7	168,4	981,8	231,0	434,9	92,0	66,7	14,5
Année	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869
Millimètres	599,5	481,3	434,0	669,9	741,9	765,4	570,1	709,9
Jours	106	92	96	158	189	211	178	192
Année	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877
Millimètres	541,0	558,5	981,8	612,4	539,7	597,6	751,4	872,0
Jours	160	177	214	167	168	164	191	231

TABLEAU donnant en millimètres les valeurs mensuelles et annuelles de l'eau provenant de la neige tombée à Ostende et le nombre de jours où la quantité en a été appréciable, d'après seize années d'observations, 1862-1877.

ANNÉES.	JANVIER.		FÉVRIER.		MARS.		AVRIL.		OCTOBRE.		NOVEMBRE.		DÉCEMBRE.		ANNÉES.	
	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.	mm.	j.
1862	0,4	1	"	"	17,3	3	1,8	1	"	"	"	"	"	"	19,4	5
1863	2,2	1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2,2	1
1864	"	"	8,3	6	"	"	"	"	"	"	"	"	2,9	2	11,2	8
1865	3,0	3	11,9	6	10,9	11	"	"	"	"	"	"	"	"	25,8	20
1866	1,4	1	0,6	1	2,5	2	"	"	"	"	"	"	"	"	4,5	4
1867	55,2	12	"	"	15,4	11	"	"	"	"	"	"	15,5	4	86,1	27
1868	13,6	6	"	"	4,9	3	"	"	"	"	"	"	"	"	18,5	9
1869	"	"	10,5	1	11,2	8	"	"	2,0	1	1,2	1	26,0	7	50,8	18
1870	0,4	1	6,8	3	22,4	5	"	"	"	"	"	"	11,0	5	40,0	14
1871	17,8	10	8,4	1	7,6	2	"	"	"	"	1,8	2	19,8	6	50,5	21
1872	"	"	"	"	3,8	3	"	"	"	"	1,3	1	"	"	5,1	4
1873	12,0	3	12,2	8	6,1	2	6,3	2	"	"	"	"	"	"	46,7	15
1874	"	"	0,8	2	16,1	3	"	"	"	"	"	"	8,1	7	25,0	12
1875	0,9	1	2,8	4	2,1	3	"	"	"	"	0,2	1	4,4	5	10,4	14
1876	11,3	3	10,8	7	12,5	5	3,4	3	"	"	"	"	0,4	1	38,4	19
1877	"	"	3,2	2	9,7	4	"	"	"	"	"	"	3,5	2	16,4	8
MOYENNE	7,4	2,6	5,0	2,6	8,9	4,1	0,7	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3	5,7	2,4	28,2	12,4

On constate généralement que la quantité d'eau qui tombe augmente au fur et à mesure que l'on approche des bords de la mer; mais, à Ostende, cette loi de continuité ne se maintient pas, par suite peut-être du voisinage des Iles Britanniques qui, en faisant barrière entre le littoral belge et l'Atlantique, s'emparent d'une partie de la vapeur atmosphérique qui autrement nous atteindrait. La répartition par saison des quantités et du nombre de jours de pluie, etc., donne, pour l'hiver, 150 millimètres et 46 jours; pour le printemps, 129 millimètres et 40 jours; pour l'été, 165 millimètres et 36 jours, et pour l'automne, 207 millimètres et 45 jours.

C'est à remarquer que le total des six mois d'hiver et de printemps est inférieur à celui des six mois d'été et d'automne, dans le rapport de 3 à 4.

Pendant les seize années, c'est le mois de novembre qui accuse, en moyenne, le plus d'eau, et celui d'avril qui en accuse le moins.

La plus grande quantité mensuelle date de novembre 1872, et la plus petite date de septembre 1865.

C'est l'année 1872 où il y a eu le maximum d'eau, et l'année 1864 où s'est produit le minimum. La différence en est de 548 millimètres.

Le 17 juillet 1865, à 3 heures du soir, par un fort orage, 12^{mm}2 d'eau sont tombés dans l'espace de dix minutes.

Le 27 juillet 1866, pendant un violent orage, on a recueilli 35^{mm}2 d'eau en trente minutes.

Le 4-5 août 1872, à minuit 10 minutes, 21^{mm}8 d'eau sont tombés dans l'intervalle de trente minutes.

Le 20 avril 1877, à 9 heures du soir, lors d'un orage, l'udomètre accusait 20 millimètres d'eau en quarante minutes.

Faute d'appareil pour déterminer le rapport qui existe entre la quantité de pluie et la direction du vent, on ne sait que répéter le fait bien connu, que le vent du quart S. O. amène la plus grande quantité d'eau, et celui du quart S. E. en amène la plus petite. Le vent du N. E. est accompagné assez fréquemment d'une pluie copieuse et persistante.

M. Hoffmeyer (Danemark), président, clôt le Congrès par l'allocution suivante :

Je crois exprimer l'opinion unanime du Congrès en constatant que la Société météorologique de France a parfaitement réussi à réaliser une réunion internationale des météorologistes ; je suis bien persuadé que les membres qui ont suivi avec l'attention nécessaire les communications, les discussions, les échanges d'idées qui se sont présentés à cette occasion seront prêts, comme moi, à féliciter la Société de la réussite surprenante de ses efforts et à la remercier. Je propose d'adresser ces remerciements spécialement à M. Hervé-Mangon, président de la Société.

Je n'ai que quelques mots à ajouter comme membre étranger. Nous sommes venus avec l'idée qu'en météorologie les Français étaient restés un peu en arrière par suite de circonstances malheureuses ; à notre départ, Messieurs, nous voici convaincus du contraire, car nous sommes aujourd'hui persuadés que le génie français, en météorologie comme dans les autres sciences, va prendre enfin son essor et nous faire une concurrence opiniâtre. Cette lutte, nous l'accepterons de bon cœur et nous espérons qu'il en sortira des résultats de la plus grande valeur pour cette science qui nous est chère.

Le Secrétaire,
FAUTRAT.

La séance est levée à 5 heures et demie.



ANNEXES.

ANNEXES.

Annexe n° 1.

RAPPORTS

DU R. P. FRANÇOIS DENZA,

MEMBRE DU CONSEIL DIRECTEUR DE LA MÉTÉOROLOGIE ITALIENNE.

ORGANISATION DU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE EN ITALIE.

I. SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE OFFICIEL.

Dans le cours de l'année 1877, la météorologie a fait en Italie un grand progrès, progrès d'autant plus grand qu'il était moins attendu.

En effet, tous les météorologistes italiens avaient plusieurs fois fait remarquer le grand besoin que nous sentions d'un règlement sérieux et bien entendu dans le service météorologique officiel, qui dépendait de quatre ministères, c'est-à-dire des ministères de l'agriculture, industrie et commerce, de la marine, de l'instruction publique et des travaux publics, et pour cela ne correspondait pas à cette unité de vues qui, à présent, doit être le but de toutes les observations, de toutes les recherches et de toutes les publications de météorologie.

Or, au commencement de la susdite année 1877, il fut publié un décret royal, qui porte la date du 26 novembre 1876, par lequel, sur la proposition des quatre ministres énumérés, on établit en Italie un seul conseil de direction et un seul bureau central de météorologie pour surveiller et diriger les observations et les publications qui se rapportent à cette science. Au conseil de direction appartiennent les délibérations, au bureau central l'exécution des affaires de la météorologie italienne.

Les quatre ministères nommés ci-dessus sont représentés au conseil, chacun par deux délégués; le conseil se trouve composé ainsi de huit membres. Le directeur du bureau central, qui est M. le commandeur Jean Cantoni, se joint à eux; il doit résider à Rome, où se trouve le bureau, et il est aidé par un personnel suffisamment nombreux, c'est-à-dire par un adjoint physicien, par un adjoint mathématicien, par un rédacteur de 1re classe et par deux ou trois rédacteurs de 2e classe.

Les attributions du conseil de direction sont les suivantes :

a. Classer les observatoires météorologiques existants; s'occuper de l'établissement des nouveaux et du perfectionnement ou de la suppression des anciens.

b. Déterminer le nombre et la qualité des instruments dont doivent être munis les observatoires de différentes classes, ainsi que la méthode et les heures des observations.

c. Établir l'époque et les règles des inspections, ainsi que l'ordre général pour les publications.

d. Pourvoir à tout ce qui peut intéresser le progrès de la science et la régularité du service.

Les attributions du bureau central sont :

a. L'exécution des délibérations du conseil de direction et de celles qui, sur la proposition du même conseil, sont émanées des ministères respectifs.

b. La correspondance avec les divers ministères pour tout ce qui appartient au service météorologique, et avec les observatoires dans le cas d'urgence.

c. La composition et la publication des observations et des mémoires, d'après les règles données par le conseil de direction.

d. L'acquisition, la vérification et l'expédition des instruments aux divers observatoires.

e. La compilation du règlement des comptes et la relation annuelle au conseil sur la régularité du service.

Le conseil de direction se rassembla déjà trois fois pendant l'année 1877, dans les mois de mars, de juillet et de novembre, sous la présidence du bien regretté P. A. Secchi.

Il établit dans ces séances les bases fondamentales du service météorologique italien; classifia les observatoires météorologiques de l'État, en les divisant en trois classes, et s'occupa, pour le moment, seulement de ceux de la première et de la seconde classe, gardant pour les années suivantes les études à faire sur ceux de troisième classe; il fit encore inspecter par quelques-uns de ses membres les observatoires de première et de seconde classe, qui constitueront le réseau principal météorologique de l'État, et il en fit comparer les instruments avec des appareils étalons acquis expressément pour cela et contrôlés soigneusement. Il établit le budget, qui fut approuvé par le Parlement national; il proposa l'acquisition des instruments les plus urgents et les plus importants pour les observatoires inspectés; il établit d'une manière définitive le bureau central; il s'occupa d'organiser le réseau pluviométrique dans les régions méridionales, où jusqu'à présent on n'a pas encore fait grand'chose, tandis que dans la haute Italie on possède déjà 350 stations pluviométriques et plus. Enfin, il traita de beaucoup d'affaires très importantes pour la régularité du service météorologique en Italie, et surtout il détermina les règles suivant lesquelles on devra dorénavant faire les observations et les publications météorologiques, en suivant les idées émises dans le Congrès météorologique international de Vienne, et les réunions du comité permanent de météorologie d'Utrecht et de Londres.

Les dernières décisions du conseil de direction seront publiées dans les comptes rendus officiels de la météorologie italienne; mais, dès à présent, j'ai le plaisir d'annoncer que les inspections de tous les observatoires météorologiques de première et de deuxième classe ont été déjà achevées; que le bureau central a été déjà installé à Rome dans un établissement choisi à cet égard par les soins du ministère d'agriculture et de commerce; que le personnel du bureau a calculé les corrections des baromètres et des thermomètres vérifiés par les inspecteurs et les a envoyés à chaque observatoire, pour rendre comparables les lectures des instruments des différentes stations; qu'on a déjà acquis et envoyé à plusieurs de ces stations des instruments, et surtout des baromètres et des thermomètres, après les avoir étudiés au bureau central; qu'on a supprimé quelques-uns des observatoires existants, mais mal organisés; et qu'on est en train d'en établir d'autres, surtout dans l'Italie méridionale, où ils font défaut.

Les observatoires de première classe sont choisis; ils sont au nombre de neuf, un pour chaque région, c'est-à-dire :

Padoue, pour la Vénétie;
Milan, pour la Lombardie ;
Moncalieri, pour le Piémont ;
Modène, pour l'Émilie ;
Florence, pour la Toscane ;
Pesaro, pour la Romagne ;
Rome (collège romain), pour le Latium ;
Naples, pour les provinces napolitaines ;
Palerme, pour la Sicile.

On espère organiser l'observatoire de Gênes pour la Ligurie.

Les observatoires de seconde classe sont une quarantaine.

On a aussi commencé à publier les observations des stations météorologiques de première et de deuxième classe déjà existantes, et qui ont été déclarées convenables par les inspecteurs. Ces publications sont faites selon les règles tracées par le conseil de direction.

Toutes les stations météorologiques attachées aux sémaphores, et qui dépendaient du ministère des travaux publics, ont été unies au réseau météorologique officiel, mais pas encore d'une manière complète. Il reste seulement le service des avertissements pour la marine, qui est encore séparé du bureau central de météorologie et qui a sa direction spéciale à Florence, sous la dépendance du ministère de la marine, quoique ce ministère soit aussi représenté par ses deux délégués au conseil de direction de météorologie. Mais on espère qu'on pourra le plus tôt possible réunir ce service aux autres services de la météorologie italienne.

En dernier lieu, je ferai remarquer que, par les soins de la division d'agriculture du royaume, on est en train d'organiser des stations forestières dans plusieurs forêts de propriété domaniale dans les provinces de Trévise, de Potenza et de Cosenza, semblables à celle qui existe déjà à Vallombrosa, en Toscane.

On s'occupe aussi de l'organisation d'un certain nombre de stations de météorologie agricole auprès de quelques établissements d'agriculture du royaume. Dans ces dernières stations comme dans les premières, on devra s'occuper d'observations spéciales regardant de plus près la météorologie des forêts et des campagnes, dans les différentes relations qu'elles ont avec les cultures qui réussissent sur le sol italien.

C'est tout ce que nous avons fait en Italie pendant la dernière année et demie ; et vous pouvez bien comprendre, Messieurs, l'utilité et les avantages que cette nouvelle et excellente organisation apportera à la météorologie en Italie. Nous nous proposons de continuer notre travail avec persistance et avec ardeur, grâce au concours empressé du Gouvernement, et de tous ceux qui, en Italie, poursuivent avec amour les études de météorologie. Pourtant nous recevrons, Messieurs, avec reconnaissance les avis et les remarques que vous voudrez nous faire sur ce sujet très intéressant, pour l'avancement de la science et des bonnes études.

II. LA CORRESPONDANCE MÉTÉOROLOGIQUE ITALIENNE DES ALPES ET DES APENNINS.

1. — Développement de la correspondance météorologique.

Hors du service météorologique officiel qui dépend du Gouvernement, il existe en Italie une association tout à fait privée qui, depuis plusieurs années, travaille avec

succès pour l'avancement de la météorologie, surtout de celle des montagnes, c'est-à-dire la *Correspondance météorologique des Alpes et des Apennins.*

Le commencement de cette association remonte à l'année 1859, année dans laquelle je commençai à organiser l'observatoire de Moncalieri près de Turin. Elle fut organisée d'abord en Piémont, où il n'existait auparavant que trois stations météorologiques, à Ivrée, à Aoste et à Alexandrie, outre l'observatoire royal de Turin. Ensuite elle s'est augmentée peu à peu dans les quatre dernières années; depuis 1875 jusqu'à présent son développement est devenu vraiment admirable et surpasse tout ce qu'il nous était permis d'espérer. En effet, non moins de cinquante et un lieux d'observations accrurent notre réseau météorologique pendant ce court espace de trois ans et demi en se disséminant sur toute la Péninsule italienne, et, vers la fin de l'année dernière, nous passâmes même la mer, et nous pénétrâmes dans les îles, en établissant trois stations météorologiques au midi de la Sardaigne, à Monteponi, à Porto-Vesme et à Ingurtosu.

En ce moment, les stations météorologiques qui constituent notre correspondance sont au nombre de quatre-vingt-dix. Elles sont contenues dans le tableau suivant, dans lequel je les donne toutes, disposées par ordre d'années, en commençant depuis 1866, c'est-à-dire depuis l'époque où le mouvement météorologique dont nous parlons s'accrut notablement et devint sûr et continuel.

LISTE DES STATIONS DE LA CORRESPONDANCE MÉTÉOROLOGIQUE ITALIENNE ALPINE-APENNINE SELON L'ORDRE DE LEUR ANNEXION.

	Stations.	Régions.	Nombre annuel.
1866.	Moncalieri	Piémont	5
	Alexandrie	*Idem.*	
	Bra	*Idem.*	
	Pignerol	*Idem.*	
	Mondovi	*Idem*	
1867.	Ivrée	*Idem.*	1
1868.	Varallo	*Idem*	5
	Biella	*Idem*	
	Casal Monferrato	*Idem*	
	Sacra St-Michel	*Idem*	
	Lodi	Lombardie	
1869.	Volpeglino	Piémont	1
1870.	Vercelli	*Idem.*	1
1871.	Petit St-Bernard	*Idem*	4
	Cogne	*Idem*	
	Grand St-Bernard	Suisse	
	Plaisance	Émilie	
1872.	Col de Valdobbia	Piémont	4
	Domo d'Ossola	*Idem*	
	Pallanza	*Idem*	
	Simplon	Suisse	
1873.	Vigevano	Piémont	6
	Serravallesesia	*Idem*	
	Casteldelfino	*Idem.*	
	Susa	*Idem.*	
	Saluzzo	*Idem.*	
	Belluno	Vénétie	

Année	Stations.	Régions.	Nombre annuel.
1874.	Stelvio	Valteline	11
	Tolmezzo	Carnie	
	Riva (lac de Garda)	Tyrol	
	Levo	Piémont	
	Crissolo	*Idem*	
	Alvernia	Toscane	
	Florence	*Idem*	
	Empoli	*Idem*	
	Grosseto	*Idem*	
	Aquila	Abruzzes	
	Vésuve	Naples	
1875.	Pontebba	Carnie	6
	Gattinara	Piémont	
	Oropa	*Idem*	
	Savona	Ligurie	
	Pescia	Toscane	
	Perugia	Ombrie	
1876.	Auronzo	Cadore	12
	Ampezzo	Frioul	
	Bormio	Valteline	
	Varèse	Lombardie	
	Ceresole Reale	Piémont	
	Balme d'Ala	*Idem*	
	Boves	*Idem*	
	Port-Maurice	Ligurie	
	Lucca	Toscane	
	Lugliano	*Idem*	
	Piedimonte d'Alife	Terre de Lavoro	
	Tropea	Calabres	
1877.	Asiago	Vénétie	14
	Conegliano	*Idem*	
	Bergamo	Lombardie	
	Vilminore	*Idem*	
	Collio	*Idem*	
	Cuneo	Piémont	
	Parma	Émilie	
	Bedonia	*Idem*	
	Vasto	Capitanate	
	Foggia	*Idem*	
	Catanzaro	Calabres	
	Reggio	*Idem*	
	Montecavo	Latium	
	Montecassino	Terre de Lavoro	
1878.	St-Gottardo	Suisse	10
	Canobbio	Piémont	
	St-Jean d'Anterno	*Idem*	
	Graglia	*Idem*	
	Cavour	*Idem*	
	Odirzo	Vénétie	
	Pordenone	*Idem*	
	Rovigo	*Idem*	
	Pinna	Émilie	
	Marola	*Idem*	

	Stations.	Régions.	Nombre annuel.
1878. (Suite.)	Reggio	Émilie	10
	Castel-del-Piano	Toscane	
	Fiesole	*Idem*	
	Massa Marittima	*Idem*	
	Aversa	Naples	
	Potenza	Basilicate	
	Cotrone	Calabres	
	Ingurtosu	Sardaigne	
	Monteponi	*Idem*	
	Porto-Vesme	*Idem*	

Quoique le concours du gouvernement italien en faveur de notre institution n'ait pas manqué, cependant cette œuvre fut soutenue surtout par les différentes sections du Club alpin italien et par d'autres associations, ainsi que par des personnes privées. En effet, des stations météorologiques indiquées dans le tableau ci-dessus furent établies par moi directement ou bien par mes collègues; les autres existaient déjà, et se sont unies à notre correspondance. Or la plus grande partie de ces stations nouvelles sont dues aux sections du Club alpin italien, ou bien à des établissements publics ou privés, à des séminaires et à des maisons religieuses, enfin, à des personnes privées.

La somme employée jusqu'à présent pour l'établissement de ces stations arrive maintenant presque à 250,000 francs. Cette somme n'est certainement pas grand'-chose en comparaison de l'importance de l'entreprise ; mais elle n'est pas non plus à mépriser, surtout dans ce moment où les secours financiers ne peuvent qu'être *fort limités.*

2. — Distribution des stations de la correspondance météorologique.

Les bulletins météorologiques soit décadiques, soit mensuels, que nous publions et que nous envoyons à tous nos correspondants d'Europe et d'Amérique, et qui doivent être bien connus de la plupart des membres du Congrès, montrent comment les stations météorologiques de notre réseau sont parsemées sur toutes les chaînes de nos montagnes.

Si l'on dispose nos stations par ordre d'altitude au-dessus du niveau de la mer, elles seront distribuées de la manière suivante :

Entre	2,600 et 2,500 mètres	2 stations.
	2,500 et 2,000	4
	2,000 et 1,500	2
	1,500 et 1,000	8
	1,000 et 500	25
	500 et 100	26
	100 et 0	23
	Total	90

Nos stations explorent donc une épaisseur de l'atmosphère qui couvre les contrées italiennes, qui surpasse 2,500 mètres, c'est-à-dire depuis le niveau de la mer (Port-Vesme, à 10 mètres, et Reggio, en Calabre, à 14 mètres) jusqu'à environ 2,500 mètres au-dessus du même niveau (col de Valdobbia, à 2,548 mètres, et Stelvio, à 2,543 mètres). Et ici il est important de remarquer que les seize stations élevées à plus de 1,000 mètres sont les seules qu'on ait jusqu'à présent dans toute l'Italie; et, excepté les trois stations du Grand Saint-Bernard, du Saint-Gothard et du Simplon, qui

appartiennent au réseau Suisse, toutes les autres furent établies par les soins de notre Société.

Les deux premières stations qui s'élèvent à plus de 2,500 mètres au-dessus du niveau de la mer, méritent une attention toute particulière; ce sont celles du col de Valdobbia et la station cantonière du Stelvio, mentionnées ci-dessus. Leur importance est grande, non seulement pour la météorologie italienne, mais encore pour celle de toute l'Europe, car elles sont les deux vedettes atmosphériques les plus hautes qu'on ait à présent sur ce continent; puisque, au moins que je sache, la seule mais en même temps incomplète qui les surpassait en altitude, celle du Fleiss-Goldzecke, dans la Carinthie, à 2,799 mètres, a depuis quelque temps interrompu ses observations.

C'est pour cela que le ministère d'agriculture d'abord, et ensuite le conseil directif de la météorologie italienne, suivant les recommandations faites par le Congrès météorologique international de Vienne et répétées dans les réunions tenues ensuite à Utrecht et à Londres par les membres du comité permanent de météorologie, a, sur mes instances, pris en considération toute spéciale les deux susdites stations et les a mises au nombre des plus importantes du service météorologique italien, avec celle du Petit Saint-Bernard, troisième en altitude parmi les stations italiennes, en décidant que leurs observations seraient publiées en détail dans le *Bulletin officiel de la météorologie*.

Tout conduit donc à espérer que ces hautes et importantes stations doivent se perfectionner et s'agrandir considérablement, et que bientôt elles seront munies de bons instruments enregistreurs. Et je puis annoncer avec plaisir qu'un excellent anémographe a été, au mois d'août 1877, installé par moi sur le col de Valdobbia, aux frais de la section Valsesienne du club alpin-italien.

Notre réseau météorologique s'étend par 8° 5 de latitude; c'est-à-dire de 46° 33′ (Auronzo); à 38° 6′ (Reggio, en Calabre); et par 9° 30′ à peu près en longitude, de 5° 25′ Ouest de Rome à 4° 7′ E. de Rome.

La distribution des stations alpines-apennines suivant la latitude est très irrégulière. Tandis qu'aux latitudes plus élevées, dans l'espace de 3° 5 seulement, c'est-à-dire de 46° 33′ à 43°, on a 73 points d'observation, dans tout le reste de l'Italie, c'est-à-dire dans les autres 5° compris entre 43° et 38°, on n'en compte plus que 17. Ceci dépend soit de la conformation des contrées italiennes, plus larges au Nord et plus étroites au Sud, soit du manque réel des stations météorologiques dans le Midi.

En effet, si l'on distribue nos stations selon les diverses zones en lesquelles l'Italie se divise ordinairement, on obtient les nombres suivants :

RÉGIONS.	STATIONS.	RÉGIONS.	STATIONS.	RÉGIONS.	STATIONS.
Vénétie..........	10	Toscane..........	10	Abruzze et Molèse..	2
Lombardie........	9	Marches et Ombrie.	1	Campanie........	4
Piémont.........	37	Latium..........	1	Pouille..........	1
Ligurie..........	2			Basilicate........	1
Émilie et Romagne.	6			Calabre..........	3
		Italie centrale...	12		
Italie septentrionale.	64	Italie insulaire...	3	Italie méridionale.	11
TOTAL........			90		

Le même manque d'équilibre existe dans le réseau météorologique officiel du royaume. Dans ce réseau également les provinces italiennes dans lesquelles les stations de météorologie sont les plus nombreuses sont celles de la haute Italie, et particulièrement le Piémont. Les provinces, au contraire, où les stations sont les plus rares, sont celles du Midi, et surtout la Basilicate. Mais il faut cependant remarquer que c'est seulement depuis peu que dans ces provinces commence à se répandre l'amour de la science météréologique. En effet, jusqu'à l'année 1869, dans toute cette vaste étendue de pays, il n'existait que trois stations, qui toutes observaient d'une manière incomplète. Maintenant, au contraire, on en a fondé dix, de sorte que chacune des provinces de l'Italie méridionale aura au moins une station qui la représentera dans notre réseau météorologique. Et on fera dorénavant davantage encore, grâce à l'extension toujours croissante du Club alpin et à la faveur que la météorologie acquiert de jour en jour en Italie.

3. — Organisation du service de la correspondance météorologique.

Comme j'ai eu l'occasion de le dire plusieurs fois dans mes rapports à ce sujet, dès le commencement de notre travail météorologique, nous avons toujours eu en vue que notre service formât un seul tout ordonné et compact, condition indispensable pour que l'on puisse en obtenir des résultats satisfaisants et avantageux pour la science : c'est à cause de cela que dans le choix des lieux, comme dans celui des observateurs des nouvelles stations météorologiques, ainsi que dans la détermination des heures et des méthodes des observations météorologiques, nous avons toujours procédé avec les mêmes vues et avec les mêmes entendements, aussi bien moi que mes collègues qui m'ont aidé et m'aident encore dans cette pénible et difficile entreprise.

J'ajoute pourtant quelques renseignements à ce propos.

1. *Local et observations.* — Pour que les nouveaux points d'observations qui se sont peu à peu joints à notre correspondance météorologique fussent le plus possible homogènes entre eux, mon système fut toujours, et est encore à présent, de me transporter moi-même plusieurs fois s'il le faut sur l'endroit, afin de choisir la position la plus opportune pour le placement des instruments, donnant de vive voix les instructions que je crois les meilleures, pour que les choses soient partout réglées d'une manière uniforme. De la même manière ont agi ceux d'entre mes collègues et associés qui se sont occupés de ce travail dans quelques régions particulières.

Les observateurs, pour la plupart, sont des personnes intelligentes et pleines de bonne volonté qui, sans le moindre intérêt, travaillent et observent pour accroître les progrès et la réputation de notre institution, avec une ponctualité et un scrupule admirables. Beaucoup d'entre eux ont été exercés directement par moi ou par mes collègues à l'usage et à la lecture des instruments, ainsi qu'aux autres observations qui sont confiées à l'estime de l'observateur ; et on leur montra aussi la manière d'enregistrer et de transmettre les observations faites et tout ce qui, en un mot, peut avoir rapport au bon fonctionnement de la station.

De cette manière la direction de la correspondance a une idée claire et complète de chaque lieu d'observation, ce qui est tout à fait indispensable pour pouvoir bien diriger notre service météorologique.

2. *Instruments.* — Le minimum des instruments qu'on a dans nos stations est :

Un baromètre à mercure, modèle Fortin ;

Un psychromètre à ventilateur, avec thermomètres en dixièmes de degré, système italien ;

Un thermographe à *maxima*, modèle Negretti et Zambra ;

Un thermographe à *minima*, modèle Negretti et Zambra ;

Un pluviomètre;

Un anémoscope.

Outre les instruments susdits, qui sont indispensables, les stations mieux fournies en possèdent d'autres. Je ferai mention ici des plus importants ;

L'*évaporomètre,* pour mesurer la hauteur de l'eau qui s'évapore tous les jours, se trouve en 54 stations.

L'*anémographe,* qui enregistre d'une manière continue la direction et la vitesse du vent, se trouve dans 20 stations.

Onze stations sont munies de l'*électromètre bifilaire,* de M. Palmieri.

L'*actinomètre,* qui sert à étudier la radiation solaire, se trouve dans 8 stations.

Les observations ozonoscopiques se font dans la plupart de nos stations.

Plusieurs des principales stations possèdent d'autres instruments et s'occupent d'autres recherches particulières que je ne rappelle pas ici comme étant hors de propos. Les plus communes sont celles qui regardent la séismologie.

Pour que les observations de notre correspondance fussent comparables à celles du service météorologique officiel, j'ai pris soin que les instruments fussent conformes à ceux qui ont été adoptés par la direction météorologique du royaume; il est donc iuutile de les décrire ici.

L'anémographe est de mon invention.

Pour les observations séismologiques, on est en train de distribuer des *Tromomètres* inventés par le R. P. Timothée Bertelli, de Florence, et par le professeur chevalier Michel-Étienne de Rossi, de Rome, et le séismographe du R. P. Philippe Ceulci, de Florence.

Les instruments décrits, et particulièrement les baromètres et les thermomètres, sont tous contrôlés à l'observatoire central de Moncalieri, où on en détermine les corrections avec les instruments étalons.

3. *Observations.* — Les observations se font au moins trois fois par jour dans toutes les stations de la correspondance, et les heures d'observations sont celles prescrites par la direction officielle de la météorologie italienne, c'est-à-dire, 9 heures du matin, 3 heures et 9 heures du soir. Il n'y a que peu d'exceptions, qui se trouvent mentionnées dans les bulletins décadiques et mensuels de notre correspondance.

L'observation simultanée internationale proposée par le *Signal office* de Washington s'exécute dans 11 stations de notre réseau.

Les méthodes avec lesquelles on fait les observations dans nos stations ne sont pas différentes de celles prescrites par la direction de la météorologie italienne. De cette manière, notre travail reste comparable à celui qu'on fait dans les autres stations météorologiques de l'Etat.

Les résultats des observations sont transmis tous les dix jours à l'observatoire de Moncalieri.

4. *Publications.* — Pour tenir en ordre le travail fait dans notre correspondance météorologique, il faudrait recueillir et réduire à petits intervalles de temps les observations exécutées dans ses diverses stations, afin que les matériaux recueillis ne s'agglomérassent point trop et ne devinssent de cette manière inutiles. Et aussi, sous ce rapport, on a fait des progrès peu à peu, à mesure que notre association s'étendait.

A présent, le résumé des observations de nos stations se publie dans quatre différents journaux, c'est-à-dire :

a. Les résumés décadiques paraissent dans le *Bollettino decadico,* qui paraît à la fin de chaque mois, et qui est distribué à toutes les sections du Club alpin italien, à tous les observatoires italiens et aux principaux de l'étranger.

b. Les résumés mensuels s'insèrent d'abord dans le *Bollettino trimestrale* du Club alpin même, et ensuite, d'une manière moins succincte, dans le *Bollettino meteorologico*

mensuel de l'observatoire de Moncalieri, qui aussi est envoyé à tous les observatoires nationaux et étrangers et à tous les météorologistes distingués des deux mondes.

c. Les résumés de chaque trimestre et de chaque année sont imprimés dans le susdit Bulletin de Moncalieri, et aussi dans les *Annales de l'académie royale d'agriculture de Turin*, qui, elle aussi, protège efficacement notre institution.

Enfin, les observations des stations de la correspondance qui font partie du service météorologique officiel sont insérées par le bureau central de météorologie, dans les publications qui se font aux frais de l'État.

Les stations de la correspondance s'étant multipliées rapidement et d'une manière tout à fait inattendue, le travail de réduction et de calcul des observations s'est accru énormément. Il fallut donc diviser ce travail, et j'ai trouvé de braves collègues qui m'aident d'une façon continuelle et énergique en cette affaire longue et pénible; ce sont MM. l'abbé Pierre Maggi, directeur de l'observatoire de Volpeglino, et l'abbé professeur Charles Panelli, directeur de l'observatoire de Vigevano.

5. *Surveillance du service météorologique.* — L'importance d'une surveillance assidue et périodique sur les stations établies est si grande qu'elle constitue une des principales recommandations qui, dans le premier Congrès international de météorologie tenu en 1873 à Vienne, en Autriche, furent faites à tous ceux qui sont à la tête des services météorologiques. En effet, c'est cette surveillance qui constitue la vie et la force de toute l'entreprise. Il ne suffit pas d'avoir établi une bonne station météorologique, mais il faut encore ne point la perdre de vue, la soutenir et l'élever continuellement pour qu'elle puisse donner les fruits qu'on en espère.

Cette recommandation essentielle a été toujours observée soit par moi, soit par ceux de mes collègues qui se trouvent à la tête de réseaux spéciaux de météorologie, dès la première organisation de notre association. Nous ne négligeâmes jamais de venir en aide à nos correspondants; et cela, nous ne le faisons pas seulement par écrit et de loin, mais nous courons fort souvent nous-mêmes où le besoin nous appelle.

Depuis que le réseau de nos stations météorologiques commença à devenir plus étendu, c'est-à-dire depuis 1871, il ne se passa pas une année en laquelle je n'eusse visité un certain nombre, quelquefois considérable, de ces stations, surtout les plus éloignées et les plus difficiles, comme celles sur les hautes montagnes. Dans ces visites on ne néglige pas de comparer avec grand soin les instruments d'observation avec des instruments portatifs déjà comparés avec ceux de notre observatoire de Moncalieri. La méthode qu'on suit dans ces comparaisons, surtout pour les baromètres, a été exposée par moi dans un mémoire intitulé : *Comparaison des baromètres des stations météorologiques italiennes.*

Les frais pour ces inspections sont faits tantôt par des personnes privées, tantôt par des administrations, tantôt par le Gouvernement qui, surtout dans ces derniers temps, m'a favorisé de son concours d'une manière toute particulière.

4. — Conclusion.

D'après ces courts renseignements, vous aurez pu, Messieurs les membres du Congrès, remarquer sans difficulté combien le développement de la *Correspondance météorologique des Alpes et des Apennins* a été rapide et singulier. Vous aurez aussi appris de quelle nature est le travail qui réunit au milieu d'elle en ce moment-ci une armée nombreuse et homogène de soldats dévoués à la science, qui donnent tous leurs soins à des recherches continuelles et pénibles, sans rien espérer pour eux, satisfaits seulement de se rendre utiles au pays, en prêtant leur appui aux progrès d'une science qui influe si puissamment sur l'agriculture, l'industrie et le commerce.

ANNEXE N° 2.

DISTRIBUTION DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

PENDANT L'HIVER SUR L'OCÉAN ATLANTIQUE SEPTENTRIONAL ET INFLUENCE QUI EN RÉSULTE SUR LE CLIMAT DE L'EUROPE,

PAR LE CAPITAINE N. HOFFMEYER,

DIRECTEUR DE L'INSTITUT MÉTÉOROLOGIQUE DANOIS.

Un des résultats les plus importants des recherches faites par la météorologie moderne est certainement la loi formulée par M. le professeur Buys-Ballot, indiquant la solidarité qui existe entre la répartition de la pression atmosphérique et la direction du vent au même instant. En général, cette loi s'exprime ainsi : Dans l'hémisphère Nord, le vent doit toujours avoir une direction telle que la pression de l'air soit inférieure du côté gauche et supérieure du côté droit (en suivant le vent). Si donc on représente la distribution de la pression atmosphérique par le procédé ordinaire au moyen de lignes isobarométriques, les directions du vent seront à peu près tangentes à ces lignes.

Cette loi revêt une importance particulière, car elle est en météorologie l'unique point où l'on ait jusqu'à présent réussi à coordonner deux éléments climatologiques (la pression de l'air et le vent) d'une manière tellement intime que l'un devienne une fonction *nécessaire* de l'autre. Il sera donc d'autant plus important pour nous d'amener l'expression de cette loi à une formule plus précise que celle sous laquelle on l'a jusqu'ici présentée.

Depuis le commencement, on a bien reconnu que la direction du vent ne coïncide point parfaitement avec la tangente aux lignes isobarométriques, mais fait un angle avec elle du côté où la pression atmosphérique est la plus faible. Toutefois l'ouverture de cet angle a été évaluée d'une manière très variable et c'est seulement pendant ces dernières années que, soit par des recherches empiriques, soit par des calculs mathématiques, on a tâché de la déterminer avec plus d'exactitude.

Un Anglais, M. Ley [1], a tracé les lignes isobarométriques des Iles Britanniques sans autre secours que les observations de l'état du baromètre; il a ensuite mené les tangentes à ces lignes isobarométriques par les points où se trouvent des stations, et finalement comparé la direction des tangentes avec celle des vents observés en ces mêmes stations. Ce résultat a été comme suit :

Direction de la tangente :	N. et N.E.	E. et S.E.	S. et S.W.	W. et N.W.	Moyenne.
Angle du vent et de la tangente :	17° 5	35°	20°	9°	20° 5.

Il résulte de là que les directions du vent sont inclinées sur les tangentes aux lignes isobarométriques, du côté de la pression atmosphérique la plus faible; cet angle est en moyenne de 20° 5, c'est-à-dire à peu près deux pointes du compas, et enfin l'angle

[1] *Journal of the Scottish met. Soc. 1873*, t. IV, p. 69.

n'est pas le même pour toutes les directions du vent, mais quatre fois aussi grand pour les vents du S. E. que pour ceux du N. W.

Suivant un procédé qui diverge assez notablement de celui appliqué par M. Ley et laisse le champ moins libre à l'évaluation, j'ai moi-même cherché à déterminer la grandeur de l'angle pour la région du Danemark et suis arrivé au résultat suivant [1] :

Direction de la tangente :	N.	N. E.	E.	S. E.	S.	S. W.	W.	N. W.	Moyenne.
Angle du vent et de la tangeante :	12° 5	15° 5	22° 5	29°	29° 5	24° 5	18° 5	14° 5	21°.

Ce qui concorde assez bien avec les résultats de M. Ley, si ce n'est que l'écart des vents du S. E. n'est que le double de celui des vents du N. W.

Par voie de calcul, M. Ferrel (dans l'Amérique du Nord) [2] et les professeurs Mohn et Guldberg (en Norwége) [3] ont démontré que l'ouverture de l'angle d'écart est une fonction du sinus de la latitude et du frottement de l'air sur la surface terrestre, de manière que l'angle s'agrandit quand la latitude diminue et le frottement augmente.

Il est donc probable que le frottement agit comme cause concomitante sur la grande différence entre les écarts que font avec la tangente les vents du S. E. et ceux du N. W.; car en ce qui concerne l'Europe occidentale, les premiers de ces vents sont assurément des vents de terre ayant été pendant longtemps exposés à un frottement considérable, tandis que les derniers sont essentiellement originaires de l'Océan, où le frottement est comparativement faible.

Ceci est confirmé par les recherches du professeur Loomis, relatives à l'ouverture de l'angle du vent sur la partie orientale des États-Unis; il a trouvé [4] :

Direction de la tangente :	N.	E.	S.	W.	Moyenne.
Angle du vent et de la tangente :	59°	47° 5	32°	49° 5	47°.

Sur la côte orientale de l'Amérique, les conditions semblent donc être inverses. L'angle d'écart y est le plus grand pour les vents du N. W. La différence est pourtant facile à expliquer, si l'on fait attention à ceci : aussi bien dans la partie Est de l'Amérique septentrionale que dans l'Europe occidentale, les vents qui font le plus grand écart viennent des continents; ceux dont l'écart est moindre soufflent de l'Océan. Peut-être trouvera-t-on quelques raisons d'en conclure qu'au large sur ce même Océan, l'écart est uniforme pour les vents quelle que soit leur direction et, comme le frottement sur la plaine liquide est assez faible, cet angle dépendrait essentiellement du sinus de la latitude.

En dernier lieu, un Anglais, M. Brown, se servant des observations du baromètre à Greenwich, Dublin et Makerstown, a calculé la marche moyenne annuelle des lignes isobarométriques sur le triangle formé par ces trois villes et comparé la tangente à ces courbes avec la direction moyenne du vent pendant l'année, sur quoi il a trouvé une inclinaison de 20° vers la pression basse [5].

L'exactitude de la loi de Buys-Ballot a donc été pleinement confirmée aussi bien par les recherches de la théorie que par des investigations empiriques. Pour la météorologie, cette loi procure entre autres le grand avantage qu'il suffit de déterminer la répartition de la pression atmosphérique sur une portion donnée de la surface terrestre pour obtenir simultanément la direction du vent sur un point quelconque de l'aire considérée, non pas la direction du vent telle que les conditions locales la mo-

(1) Ces recherches ne sont pas encore publiées.
(2) *American Journal of Sciences and Arts*, t. VIII, novembre 1874.
(3) *Études sur les mouvements de l'atmosphère*, 1876.
(4) *American Journal of Sciences and Arts*, t. VIII, juillet 1874.
(5) *Proceedings of the Royal Society*, t. XXV, février 1877.

difient parfois très profondément, mais au contraire la direction vraie du courant d'air. L'avantage consiste surtout en ce que, pour déterminer la répartition de la pression atmosphérique il n'est exigé qu'un nombre limité d'observations, soit parce que dans un milieu aussi mobile que l'air il y a toujours une transition adoucie entre les diverses pressions, soit parce que le baromètre est un instrument qui subit à un faible degré seulement les influences locales de son entourage, tandis que le contraire a lieu pour la girouette.

Après ces remarques préalables dont j'ai vu la nécessité pour appuyer les bases de la méthode que j'ai employée dans les recherches suivantes, il nous faut maintenant passer à notre sujet proprement dit.

La première exposition claire de la manière dont la pression atmosphérique est répartie sur le nord de l'océan Atlantique et des continents qui le bordent est due à la sagacité d'un investigateur, M. Buchan, secrétaire de la Société météorologique d'Écosse. Il y a aujourd'hui neuf ans qu'il a publié ses cartes remarquables sur la répartition moyenne des pressions barométriques pour chaque mois, et quoique par une conséquence naturelle de l'insuffisance assez notable de ses matériaux qui n'étaient pas non plus toujours parfaitement bons, ces cartes ne puissent être considérées que comme une première approximation vers la réalité, cependant les conditions météorologiques de l'océan Atlantique septentrional étaient si nettement accusées que le résultat fourni par les lignes isobarométriques de M. Buchan s'est montré depuis tout à fait juste dans ses traits les plus saillants.

Ce qui caractérise cet océan, c'est que pendant l'hiver la pression de l'air est très basse aux abords de l'Islande, tandis qu'à la même époque le baromètre se maintient haut dans l'Ouest sur les grandes terres au nord de l'Amérique, dans le Sud, vers le 30° degré de latitude et surtout à l'Est sur le grand continent asiatique; la pression augmente de même vers le Nord. Comme conséquence de cette répartition de la pression atmosphérique, l'air affecte un mouvement cyclonique autour d'un centre allongé passant au N. E. de l'Islande, de manière que la direction du vent devient N. W. sur l'Amérique du Nord, Ouest sur l'océan Atlantique, S. W. sur toute l'Europe septentrionale et centrale, l'ouest et le nord de la Sibérie et enfin Est virant au N. E., sur la partie Nord de l'océan Glacial arctique, le Spitzberg et le Groënland.

D'autre part, pendant l'été, l'attention est arrêtée surtout par la forte pression atmosphérique aux Açores, tandis que tout autour existe une pression plus faible. De là l'origine de ce magnifique mouvement anticyclonique de l'air, tel que le font si clairement ressortir les cartes anémographiques élaborées par le lieutenant Brault; entre autres phénomènes, cette circulation donne lieu au vent alizé du N. E., si fortement développé à cette époque de l'année.

Les lignes isobarométriques de M. Buchan pour janvier et juillet ont été reproduites plus tard sous une forme légèrement retouchée par M. A. Wojeikof. Les changements que ce météorologiste distingué a indiqués doivent certainement être considérés comme des améliorations très heureuses. Par exemple, il a supposé que pendant l'hiver la pression atmosphérique sur l'intérieur du Groënland est plus forte que celle qu'on trouve indiquée sur la carte isobarométrique de M. Buchan, et par suite de cela, outre le minimum principal au N. E. de l'Islande, il se produit un minimum partiel sur le détroit de Davis : comme nous le verrons plus tard, cette conception est un pas en avant dans la direction du vrai.

Toutefois, aussi bien M. Wojeikof que M. Buchan étaient réduits à un petit nombre de jalons pour tracer leurs courbes isobarométriques sur la partie la plus septentrionale de l'océan Atlantique et comme à cela s'ajoute encore le fait que les indications de la hauteur barométrique pendant l'hiver au Groënland occidental telles qu'ils les ont employées, se sont trouvées trop fortes d'une quantité sensible, la conséquence en a été

que leurs courbes d'égale pression sur les régions désignées sont fautives et appellent des modifications assez considérables.

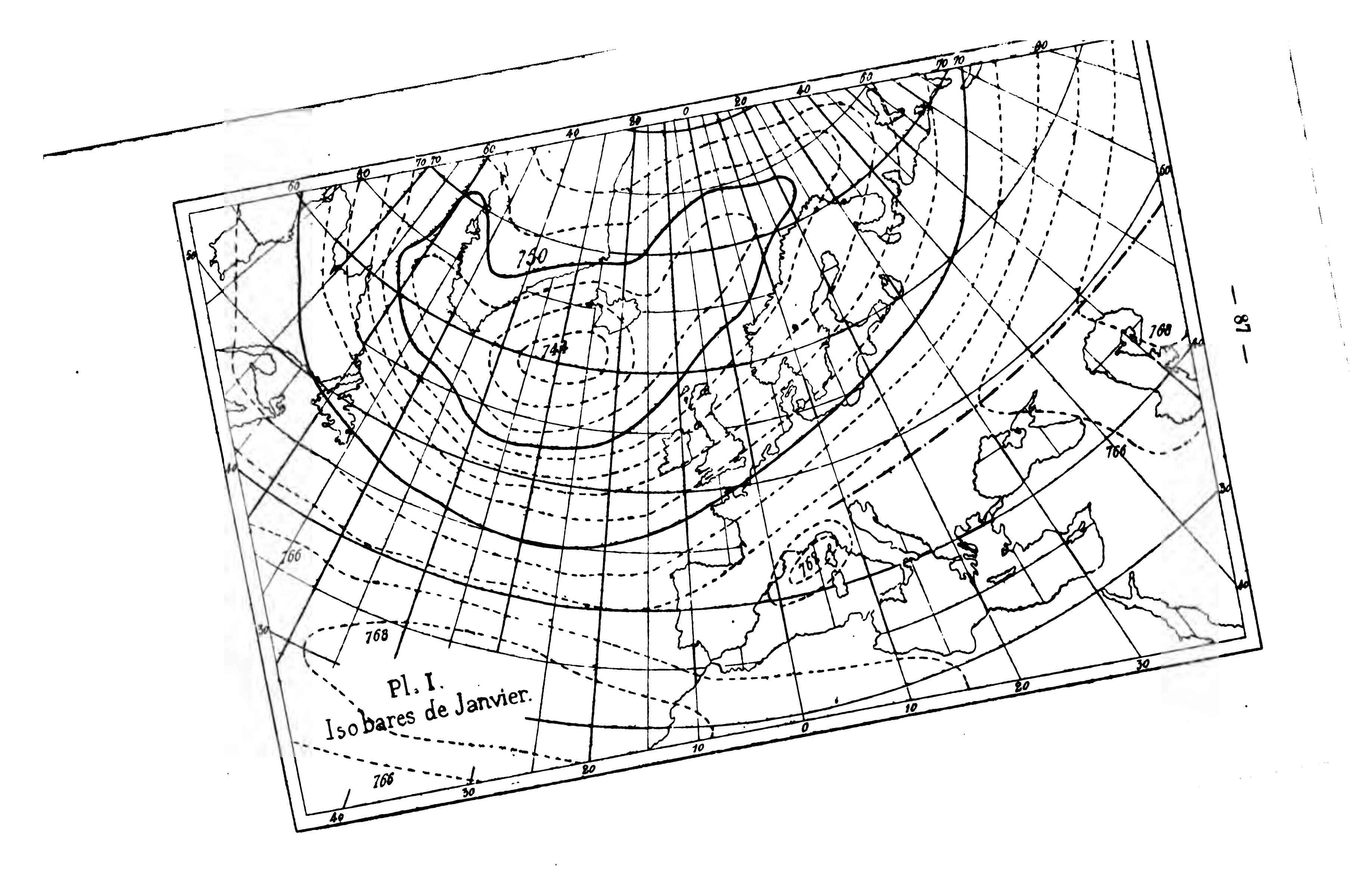
Plus tard, je me suis trouvé en possession de données plus étendues et plus dignes de confiance fournies par le Groënland et l'Islande. C'est alors qu'avec leur secours j'ai cherché à dresser la carte des lignes isobarométriques pour janvier (V. pl. I). Je suis convaincu que pour la partie de l'océan Atlantique au nord du 50° degré de latitude, ces isobares se rapprochent notablement plus de la vérité que celles publiées antérieurement, mais tout le reste est calqué exactement sur le tracé de M. Wojeikof; je fais exprès de souligner ce point, car je suis fondé à soupçonner qu'en divers endroits les courbes réclament des modifications sensibles; mais je reconnais en même temps que peut-être le moment n'est pas encore opportun pour entreprendre de tels changements.

D'après la nouvelle carte isobarométrique de janvier, le minimum principal n'est pas situé au N. E., mais au S. W. de l'Islande, tandis que des minima partiels s'étendent à partir de ce point, soit jusque dans l'océan Glacial arctique, soit dans le détroit de Davis. Le changement apporté consiste essentiellement en ce que les hauteurs barométriques le long de la côte occidentale du Groënland ont été diminuées, de 4 à 6 millimètres et celles de la côte orientale de l'Islande accrues de quelques millimètres; mais d'ailleurs la forme des courbes est le résultat des études suivies que j'ai faites tant des cartes synoptiques journalières que des cartes moyennes mensuelles.

Comme la région de l'océan Atlantique située au nord du 50° degré de latitude n'est qu'exceptionnellement sillonnée par des navires pendant l'hiver, on ne pourra jamais attendre que ces derniers fournissent un recueil d'observations barométriques assez nombreuses pour qu'il soit possible d'en déduire l'état moyen du baromètre pendant ces mois. On le pourra d'autant moins que dans ces parages la pression de l'air est sujette à de si fortes variations, soit d'un jour à l'autre, soit d'une année aux suivantes, que le cas exigerait un nombre démesurément grand d'observations et une fort longue suite d'années pour réaliser les matériaux d'une statistique suffisamment bonne. La seule voie par laquelle on puisse réussir à obtenir des données utilisables sur l'état moyen du baromètre, c'est la méthode suivante : Sur les cartes synoptiques journalières que j'ai publiées et pour lesquelles je me suis servi des observations faites en mer par les Anglais et les Allemands, j'ai pu, grâce à ces dernières et aux observations d'Europe, d'Islande, du Groënland et du Canada, tracer les courbes d'égale pression sur la surface entière de l'océan Atlantique septentrional. Sur ces mêmes cartes, on peut déterminer par interpolation la pression atmosphérique jour par jour pour un grand nombre de points répartis uniformément sur l'Océan; ces hauteurs barométriques de chaque jour peuvent ensuite donner par le calcul l'état mensuel moyen du baromètre pour chacun des points choisis, et à l'aide d'une série de telles moyennes mensuelles comprenant un nombre d'années suffisamment grand, l'on peut avoir la répartition moyenne de la pression de l'air sur l'Océan pour chaque mois séparé.

Nonobstant le plus ou moins d'inexactitude qui entachera toujours le tracé isobarométrique des cartes synoptiques journalières embrassant de grandes étendues de l'Océan sur lesquelles les observations sont assez disséminées, cependant la méthode précitée donnera des résultats beaucoup plus dignes de foi que ceux qu'on pourrait déduire, comme on l'a fait jusqu'ici, des observations de bord elles-mêmes, parce qu'alors les moyennes seront tirées de données ayant la même valeur relative.

Pour le moment, nous n'avons toutefois devant nous que les cartes synoptiques journalières de deux années, savoir : de 1874 et 1875; il faut donc nous contenter de dresser les cartes des pressions moyennes pour les mois d'hiver de ces deux années, pour en arriver par ce moyen à nous faire une idée de l'aspect général des courbes isobarométriques sur le nord de l'océan Atlantique pendant cette saison.



Pl. I.
Isobares de Janvier.

Ce sont précisément de pareilles cartes isobarométriques pour les mois d'hiver sur lesquelles je me permettrai d'attirer l'attention dans ce qui suit; à côté de ressemblances qu'on ne saurait méconnaître, ces cartes présentent néanmoins aussi des divergences très considérables de la carte des moyennes isobarométriques pour janvier telles que les montre la première planche.

En janvier 1874 (pl. II) le minimum principal est situé au loin dans l'océan Glacial; là le baromètre se tient au-dessous de 736 millimètres, c'est-à-dire de 12 à 16 millimètres au-dessous de l'état moyen pour ce mois; au S. W. de l'Islande, le minimum est aussi développé d'une manière plus prononcée que d'ordinaire, mais il n'apparaît cependant que comme minimum partiel. Tel est encore le rôle joué par le minimum du détroit de Davis, qui est à peu près normal.

En janvier 1875 (pl. III), c'est le contraire; le minimum principal se trouve là où il doit être, savoir au S. W. de l'Islande; mais d'une part son centre se tient de cinq degrés de latitude plus au Sud et d'ailleurs il est notablement plus développé que d'ordinaire. Le minimum partiel du détroit de Davis est à peu près normal, tandis que celui de l'océan Glacial ne se dessine que très faiblement.

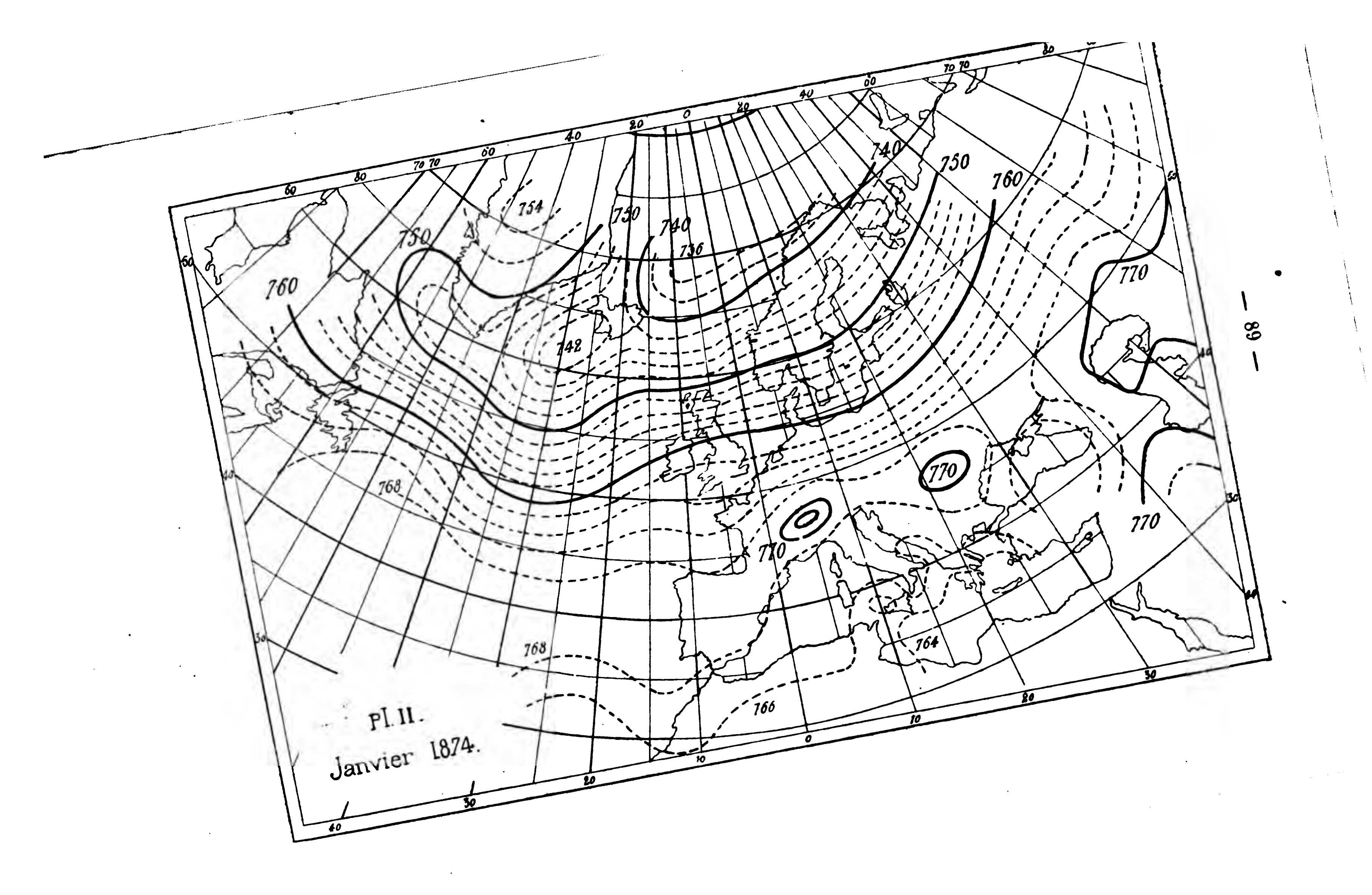
Février 1875 (pl. IV) montre que même le minimum du détroit de Davis peut prendre les proportions d'un minimum principal. Le minimum au S. W. de l'Islande se porte vers la pointe méridionale du Groënland et ne se manifeste que faiblement sous forme de minimum partiel; quant au minimum de l'océan Glacial, on n'en trouve qu'une trace.

Décembre 1874 (pl. V) accuse le plus grand écart de la condition habituelle, car le minimum principal au S. W. de l'Islande s'évanouit entièrement pour faire place à une dorsale barométrique provenant d'un maximum extraordinairement fort à la latitude des Açores et s'étendant vers le Nord à travers l'Islande jusqu'aux régions polaires mêmes. A l'ouest de cette onde de haute pression, nous voyons le minimum du détroit de Davis se développer convenablement, tandis que dans l'océan Glacial, à l'Est, le minimum est assez faible et n'est à proprement parler qu'une fraction d'un vaste minimum irrégulier qui embrasse la presque totalité de l'Europe.

La répartition moyenne de la pression de l'air pendant janvier (pl. I) se présente donc comme le résultat de conditions très variables; car tantôt l'un, tantôt l'autre des trois minima peuvent en arriver à jouer le rôle principal, et alors c'est ordinairement aux dépens des autres. Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est qu'il peut se produire des conditions aussi anormales que celles de décembre 1874, où la pression de l'air sur l'Océan est plus forte que sur le Groënland et le Labrador à l'Ouest, et sur l'Europe à l'Est. Bien qu'on ne puisse pas nier que les quatre exemples présentés aient été choisis avec intention de manière à montrer les écarts les plus caractéristiques, cependant la facilité avec laquelle se produisent, sur l'océan Atlantique septentrional, des variations intenses et étendues dans la répartition de la pression atmosphérique, ressort avec une parfaite clarté du fait que trois des mois choisis, savoir : décembre 1874, janvier et février 1875, forment une série non interrompue et présentent pourtant des conditions si fortement discordantes.

D'après la loi de M. Buys-Ballot, il est clair que les différences dans la répartition de la pression atmosphérique telles qu'on les a mises en lumière doivent avoir la plus grande influence sur les conditions d'écoulement des masses d'air et par cela même sur le climat des pays qui bordent la portion septentrionale de l'océan Atlantique.

Le développement très marqué du minimum barométrique sur l'océan Glacial pendant le mois de janvier 1874 (pl. II) doit attirer de l'Occident un puissant courant d'air venant de l'océan Atlantique, où la température est relativement élevée, et le diriger sur tout le nord de l'Europe, adoucissant à un degré notable le froid de l'hiver. En réalité, ce même mois accusait un excès de chaleur de 2 degrés aux Iles Britan-



Pl. II.
Janvier 1874.

niques, de 3 degrés en Danemark, de 3 à 5 degrés en Norwége, de 5 degrés à Stockholm et Saint-Pétersbourg, voire de 8 degrés sur la mer Blanche. D'autre part, et simultanément, la masse d'air circulant du N. E. le long du bord opposé du minimum barométrique apportait un froid extraordinaire sur l'Islande et le Groënland; au premier endroit, la température fut de 6 à 8 degrés au-dessous de la normale et au Groënland occidental elle se tint de 3 à 4 degrés inférieure à la normale.

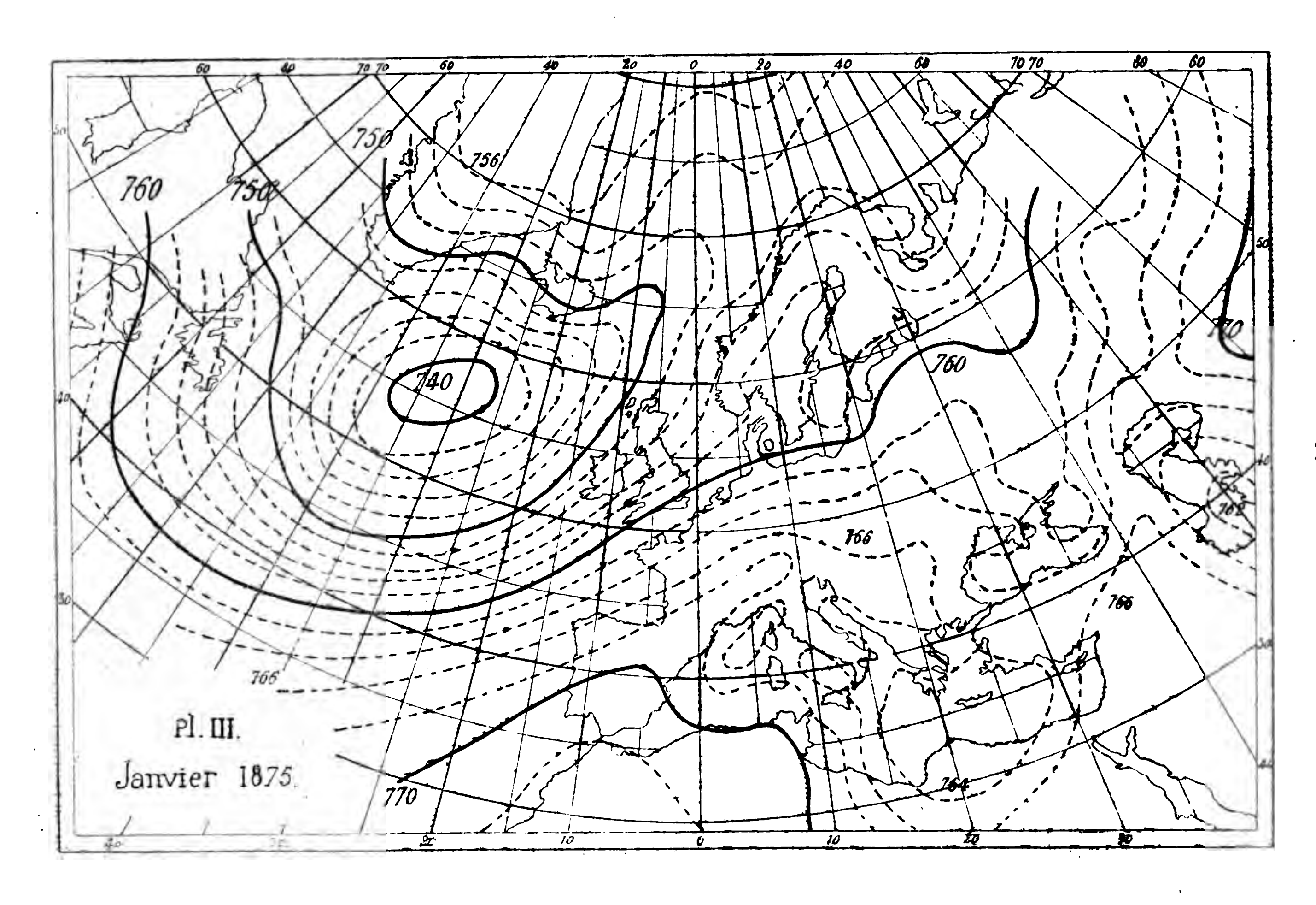
En janvier 1875 (pl. III), alors que le minimum particulier à l'océan Atlantique prenait un si fort développement, il arriva bien que ce phénomène fit dériver un courant d'air chaud du S. W. sur les Iles Britanniques, par suite de quoi la température de cet archipel dépassa de quelques degrés la normale; mais en conséquence de l'insignifiance du minimum sur l'océan Glacial, ce courant ne pénétra point jusque dans le reste de l'Europe septentrionale; au contraire, il se détourna et se dirigea sur l'Islande; aussi le Danemark eut un excès de froid de 1 degré, la Norwége de 1 à 3 degrés, Stockholm de 6 degrés et Saint-Pétersbourg même 7 degrés. Le vent fort qui soufflait de l'Est sur l'Islande fut alimenté autant par les vents du Sud et du S. E. de l'océan Atlantique que par les vents du N. E. de l'océan Glacial; c'est pourquoi la température de cette île fut normale. Sous l'influence combinée du fort minimum sur l'océan Atlantique et du minimum partiel du détroit de Davis, un courant d'air froid du N. W. s'abattit sur le Labrador et le Canada; aussi dans ce dernier pays la température baissa-t-elle de 3 à 4 degrés au-dessous de la normale.

Quand le minimum barométrique du détroit de Davis atteint son développement extrême, comme en février 1875 (pl. IV), l'air chaud de l'océan Atlantique est attiré directement sous forme de vents du Sud et du S. E. sur l'Islande et le Groënland; dans ces parages, la température devient donc de 3 à 5 degrés trop élevée, tandis que les vents du N. W. amènent du froid sur le continent de l'Amérique septentrionale et qu'ainsi le Canada devient trop froid de 5 degrés. Dans le nord de l'Europe, les vents de terre dominent, et conséquemment la température est trop basse de quelques degrés.

En décembre 1874 (pl. V), le minimum du détroit de Davis à l'ouest de la dorsale barométrique, produisit un fait semblable à celui de février 1875, attirant sur le Groënland du S. E. des vents relativement chauds et symétriques aux vents froids qui soufflaient du N. W. sur le Canada. Le versant oriental de la susdite dorsale opère sur le minimum de l'océan Glacial, de concert avec l'état de baisse du baromètre sur presque toute l'Europe, donnant pour résultat un courant d'air qui, de l'extrême horizon des mers polaires, pénètre jusque dans les Iles Britanniques, où le refroidissement atteint 4 degrés au-dessous de la normale. Ce courant se propage à travers la France et atteint la mer Méditerranée; sa présence empêche l'air chaud de l'océan Atlantique de s'écouler sur l'Europe, qui par suite de cela subit un refroidissement, même là où, comme en Russie, le vent affecte d'une manière tranchée la direction du Sud au Nord.

Autant la répartition de la pression atmosphérique sur le nord de l'océan Atlantique peut être variable, autant les grands courants d'air qui en résultent peuvent donc aussi présenter des écarts considérables, et les exemples cités ont montré, en particulier, quelle influence marquée ce phénomène exerce sur les conditions thermales de l'hiver dans le nord de l'Europe, en Islande, au Groënland et au Canada, suivant que la distribution de la pression de l'atmosphère favorise au contraire l'alimentation directe de l'air fourni par les eaux chaudes de l'océan Atlantique.

Ce n'est pourtant pas seulement la température, mais aussi l'humidité de l'air, la quantité de nuages et d'eau tombée qui dépendent des conditions anémographiques et, par cela même, de la répartition de la pression atmosphérique et comme, en outre, un baromètre bas est ordinairement accompagné de vents violents, tempêtes et varia-



Pl. III.
Janvier 1875.

tions fréquentes, tandis que la hausse du baromètre est suivie d'une phase plus tranquille, le caractère du temps qui domine sur le nord de l'Europe dépend donc entièrement et étroitement de la prédominance obtenue par l'un ou l'autre des minima barométriques de l'océan Atlantique septentrional.

Sur sa carte des courbes isobarométriques pour janvier, M. Wojeikof a tiré une ligne par les points des méridiens d'Europe et d'Asie, où la pression de l'air est la plus forte pendant ce mois, et cette ligne qu'on trouve tracée sur la première planche, il l'appelle «le grand axe du continent.» Cette remarque me fait l'effet d'être très ingénieuse, parce qu'une pareille dorsale barométrique, occupant une position transversale, existe en réalité presque toujours pendant les mois d'hiver et qu'elle exerce une influence importante sur le climat de l'Europe en formant une ligne de démarcation entre la partie de notre continent qui subit l'influence immédiate de l'océan Atlantique septentrional avec ses vents d'Ouest dominants et la portion qui est essentiellement influencée par la mer Méditerranée et où dominent les vents d'Est. Cependant la position géographique de l'axe est assez variable : tantôt il est situé plus au nord de l'Europe, tantôt plus au sud.

En janvier 1874 (pl. II) il longe le littoral Nord de la mer Caspienne et de la mer Noire, traverse la Hongrie, l'Autriche, la Suisse, le midi de la France, l'Espagne et le Portugal, et se dirige vers les Açores. Au nord de cette ligne nous voyons les vents varier de l'Ouest au Sud; du côté méridional de la ligne, de l'Est au Nord.

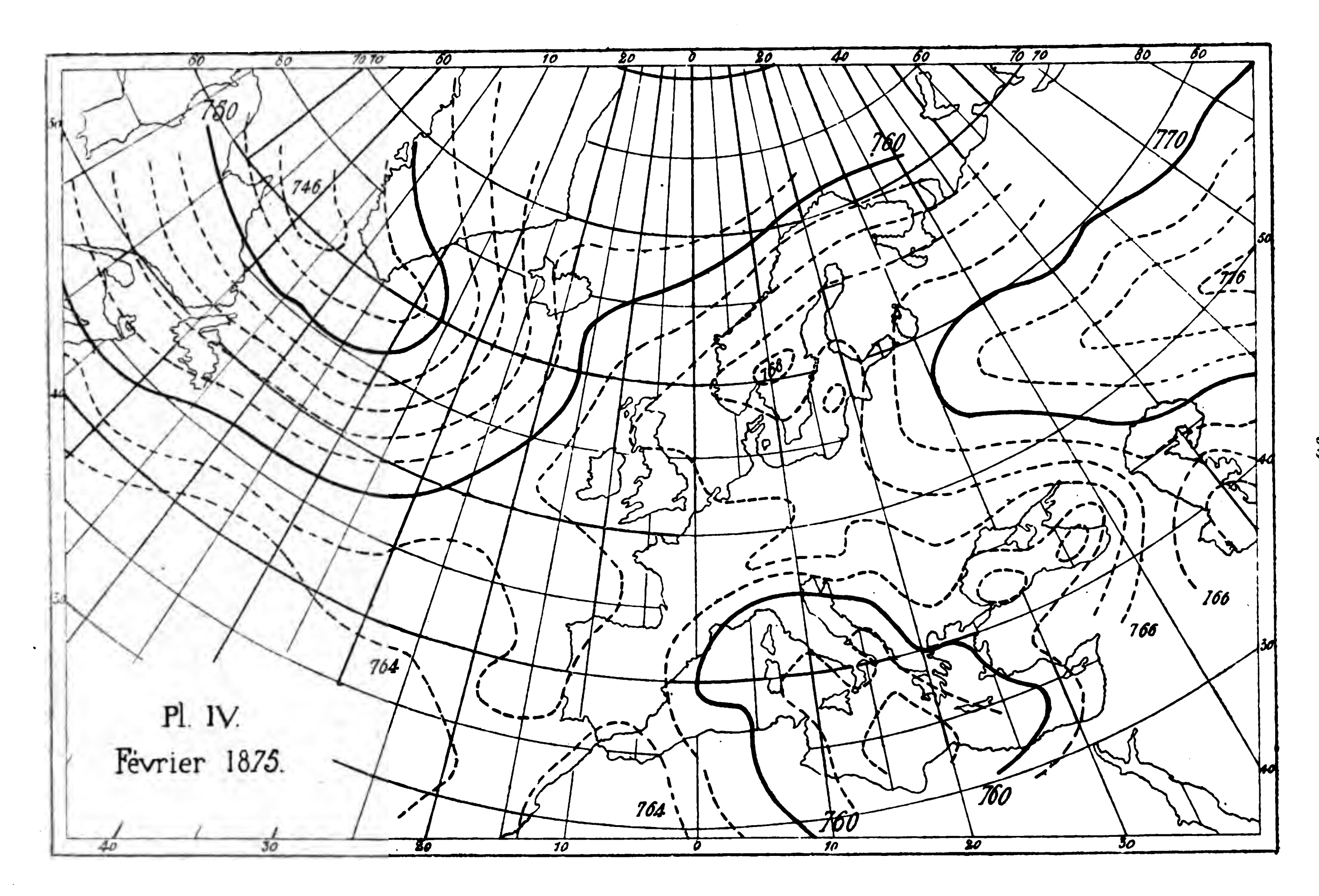
En janvier 1875 (pl. III) l'axe descend de la côte septentrionale de la mer Caspienne, traverse le Caucase, côtoie la mer Noire par le Sud et passe du massif des monts Balkans aux Alpes ; puis, traversant la France méridionale et la péninsule ibérique, il s'en éloigne en se recourbant fortement vers le S. W., se dirigeant cette fois vers l'île de Madère, puisque l'aire de forte pression située sur l'océan Atlantique est refoulée vers le Sud par le minimum barométrique fortement développé au S. W. de l'Islande. Nonobstant l'inflexion réelle que l'axe fait au Sud le long de la mer Noire, les courbes d'égale pression accusent encore une légère ramification de l'arête barométrique à la place qu'elle occupe normalemeent au nord de cette mer.

Février 1875 (pl. IV) nous prouve par un exemple que l'axe peut se trouver beaucoup plus au Nord. Du centre de la Russie, on le voit ainsi se relever jusqu'au 60° degré de latitude, où il traverse la péninsule scandinave, et c'est seulement à partir de là qu'il tourne au S. W., en parcourant l'Écosse et l'Islande et se dirigeant vers les Açores. En pareilles circonstances, les contrées méditerranéennes doivent donc éprouver des vents du N. E. qui viennent des régions situées beaucoup plus au Nord et par cela même plus froides qu'en d'autres cas; aussi mande-t-on d'Italie un froid anormal et la chute de fortes quantités de neige.

Finalement, en décembre 1874 (pl. V) l'axe reprend à peu près son allure normale à travers l'Europe vers les Açores; mais sur l'Autriche, l'Allemagne méridionale et le midi de la France, il n'est que vaguement dessiné par suite du bas état du baromètre en Europe; cependant il divise d'une manière bien tranchée le vaste minimum européen en deux minima distincts, l'un au Nord, l'autre au Sud, les vents de chacun d'eux ayant un mouvement giratoire bien caractérisé.

Après cela on ne peut révoquer en doute qu'il y ait une liaison intime entre le développement du minimum sur la partie septentrionale de l'océan Atlantique et les oscillations de l'axe continental en Europe; mais est-ce, comme par exemple en février 1875 (pl. IV), la pression extraordinairement forte sur l'Asie occidentale et la Russie qui refoule le minimum de l'Océan jusque dans le détroit de Davis, ou bien est-ce, au contraire, le faible développement du minimum atlantique qui a attiré l'axe vers le Nord? On ne saurait le décider pour le moment.

Une chose n'aura probablement échappé à aucun de nos honorés collègues, savoir



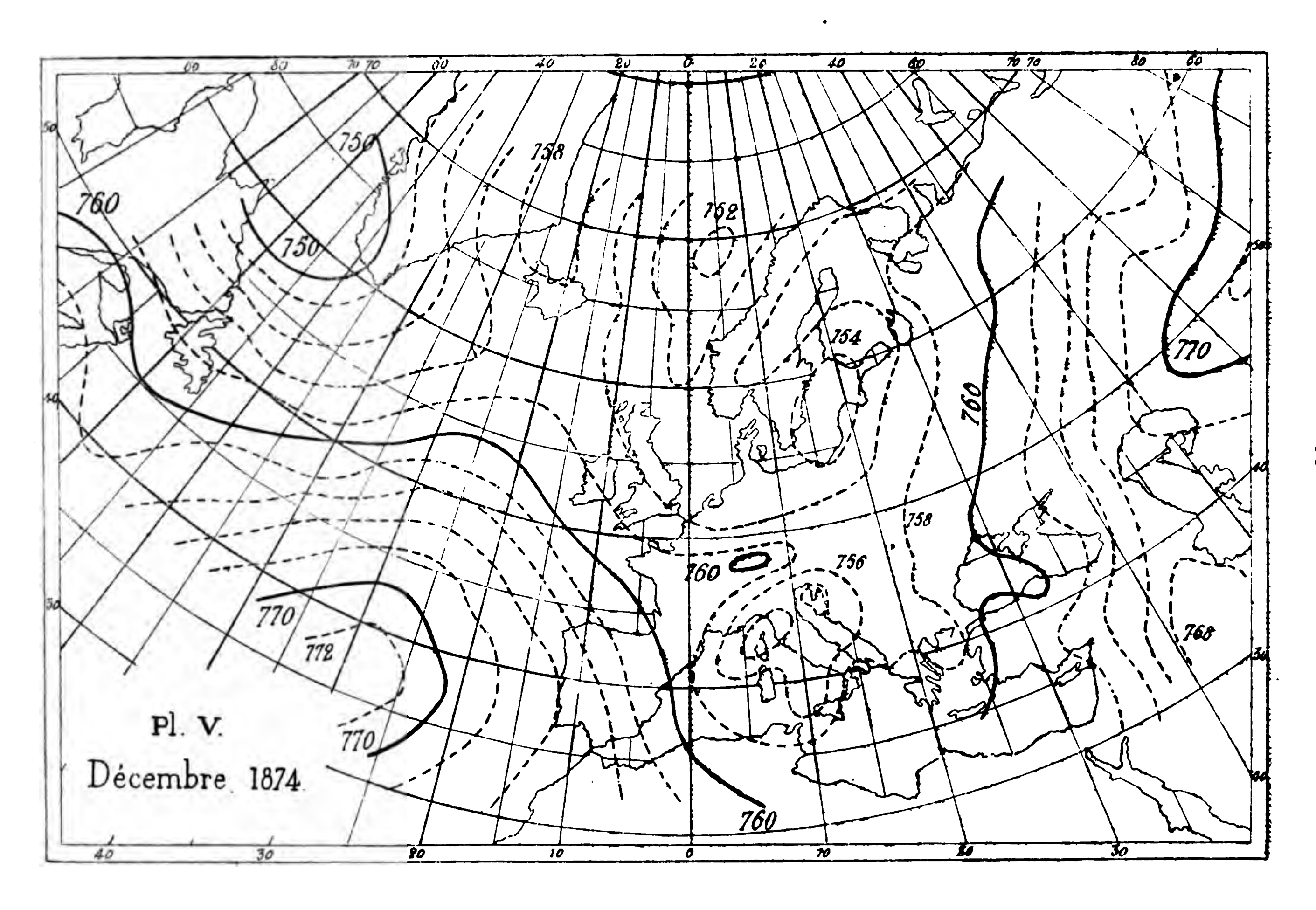
Pl. IV.
Février 1875.

que dans ce qui précède je ne me suis pas laissé aller à des considérations théoriques; je me suis uniquement restreint à citer des faits certains et à mettre en avant leurs propriétés caractéristiques. Toutefois dans un exposé descriptif on est contraint, pour éviter la diffusion, d'employer certaines définitions quoiqu'elles s'appuient sur des théories déterminées, mais cela n'impose aucune condition au libre emploi des matériaux, car ceux-ci n'en restent pas moins intacts dans le tableau graphique.

Prenons comme exemple la loi de M. Buys-Ballot; elle indique une relation entre la répartition de la pression de l'air et la direction du vent, mais elle laisse d'ailleurs tout à fait pendante la question de savoir ce qui, dans cette relation, est cause et ce qui est effet, si l'origine des courants d'air est la suite d'un certain mode de distribution de la pression, ou si c'est la condition inverse qui a lieu. Sous ce rapport, j'ai dû nécessairement prendre un parti, et alors j'ai opté pour la théorie qui, toutes circonstances bien considérées, me paraît être la plus vraisemblable, savoir que la répartition de la pression est le fait fondamental; mais en cela je n'ai de nulle façon voulu établir que le mouvement de l'air ne saurait avoir à son tour une influence bien marquée sur la distribution de la pression atmosphérique.

Il me semble qu'au point où la météorologie en est maintenant nous avons plus besoin de renseignements sur les conditions réelles des phénomènes que de théories qui, tant que les données seront encore totalement ou partiellement défectueuses, en arrivent à reposer plus ou moins sur un pied d'argile. C'est pourquoi, en ma qualité de directeur de l'Institut météorologique danois, dont les stations forment un réseau qui s'étend sur les îles Féroë, l'Islande et le Groënland, j'ai considéré comme de mon devoir spécial de contribuer, suivant mes moyens, à éclaircir plus à fond les conditions météorologiques auxquelles est sujette la partie indiquée de l'océan Atlantique septentrional; ce sont les résultats provisoires de recherches commencées dans ce but que j'ai eu l'honneur de présenter au Congrès à cette occasion.

Avant de terminer, je me permettrai toutefois d'ajouter les remarques générales suivantes : Dans les zones froides et tempérées de la terre, l'hiver occasionne toujours une pression barométrique plus faible sur les mers relativement chaudes que sur les continents fortement refroidis. Pour niveler cette différence de pression, la masse d'air s'écoule des continents sur les mers; mais par suite de la rotation de la terre sur son axe, de la force centrifuge et des frottements, l'afflux, au lieu de se produire en ligne droite, suit une trajectoire loxodromique. De cette manière sont engendrés de puissants mouvements cycloniques de l'air dans les régions septentrionales de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique; la conséquence en est que sur les côtes orientales des continents prédominent les vents du Nord, tandis que les vents du Sud règnent sur les littoraux de l'Ouest. Il est évident qu'une telle distribution des vents doit avoir une très grande influence sur les conditions climatériques; mais dans le nord de l'océan Atlantique, différentes autres circonstances contribuent à exalter considérablement les influences que subit le climat. En premier lieu, cet océan est extraordinairement chaud, même dans des latitudes élevées, ce qui augmente beaucoup l'intensité du mouvement cyclonique de l'air, et en second lieu la formation d'un minimum spécial dans l'océan Glacial arctique fournit l'occasion d'écarts considérables en dehors de ce mouvement. En effet, pendant l'hiver, le long des côtes occidentales et septentrionales de la Norwége, la mer est constamment libre et d'une température comparativement très élevée; ce fait donne naissance à la formation d'un minimum barométrique s'étendant, comme on le voit par la planche I, non seulement entre la Norwége et le Groënland, mais aussi entre la Norwége et le Spitzberg, et même plus loin à l'Est. C'est la situation de ce minimum presque au nord de l'Europe qui appelle l'air chaud de l'océan Atlantique sur le N. W. et le Nord de ce continent; là nous avons la cause principale de la douceur de notre climat pendant l'hiver, car un mouvement purement cyclonique de



Pl. V. Décembre 1874.

l'air autour d'un minimum sur le nord même de l'océan Atlantique n'aurait pour effet principal que de faire écouler vers la mer la masse aérienne qui couvrait le continent, et non d'alimenter ce dernier par l'atmosphère marine. Or, que les choses se passent ainsi, je crois l'avoir démontré par les deux cartes mensuelles de janvier 1874 et janvier 1875 (pl. II et III); dans la première de ces périodes, le fort développement du minimum de l'océan Glacial appela sur le nord entier de l'Europe un excès de température qui s'éleva jusqu'à 7 degrés à Saint-Pétersbourg; l'année suivante, à pareille époque, il y eut, en raison de l'atténuation considérable de ce même minimum, un déficit de chaleur presque aussi grand, et cependant le mouvement giratoire sur l'océan Atlantique septentrional était en pleine voie, on devrait même dire accéléré. En général, on peut soutenir que les deux minima agissent de concert; le minimum de l'océan Atlantique amène l'air chaud et humide des latitudes méridionales à la hauteur des Iles Britanniques, et là cet air est saisi par le minimum de l'océan Glacial arctique pour être distribué sur la surface entière de l'Europe septentrionale.

Conjecturer sur les causes des variations remarquables que subit la répartition de la pression atmosphérique dans l'océan Atlantique septentrional serait, pour le moment, une opération tout à fait oiseuse. Il faut bien nous souvenir que les cartes isobarométriques, telles que je les ai présentées, embrassent à peine 180 degrés de longitude, et qu'en raison du manque d'observations, il ne sera pas possible d'établir de semblables investigations sur les conditions auxquelles est soumise en même temps l'autre moitié de notre hémisphère; également, nous ne savons rien sur ce qui se passe dans les régions polaires proprement dites. C'est donc seulement la moindre partie du phénomène entier que nous connaissons, et conséquemment toute conclusion doit flotter dans le vague. En attendant, concentrons tous nos efforts sur un objet, savoir : de rassembler des matériaux suffisamment bons et d'une portée convenable; exerçons notre patience à élaborer ces éléments en suivant les directions les plus diverses, afin de faciliter les vues d'ensemble et de faire ressortir les traits caractéristiques. Quand le moment précis sera venu, la météorologie ne manquera pas d'avoir un Képler pour révéler ses lois; mais vouloir en précipiter la rédaction n'est point chose possible.

Annexe n° 3.

QUELQUES REMARQUES

SUR LES GRANDS MOUVEMENTS DE L'ATMOSPHÈRE AU POINT DE VUE DE LA PRÉVISION DU TEMPS,

PAR M. MAURICE DE TASTES.

Dans le courant de l'année 1865, le célèbre directeur de l'Observatoire de Paris invita les préfets à créer dans leurs départements respectifs des commissions destinées à organiser un service spécial pour l'étude des orages. Chargé par le préfet d'Indre-et-Loire de la direction du service dans ce département, j'étais arrivé, au bout de trois ans d'efforts, à quelques résultats d'un certain intérêt, lorsque je reconnus avec la plupart de mes collègues des autres commissions que cette étude restreinte aux étroites limites d'un département ne conduirait à des conclusions importantes qu'autant qu'on la rattacherait à celle des grands mouvements de l'atmosphère. Or, à cette époque, ce qu'on savait sur cette vaste question se réduisait encore à peu de chose et, les théories alors en vogue me paraissant peu satisfaisantes, je voulus tenter d'en créer une à mon tour, en m'appuyant principalement sur les cartes quotidiennes publiées par l'Observatoire de Paris. J'étais, d'ailleurs, bien résolu à ne la produire au grand jour que lorsque de nouveaux renseignements, fournis par le vaste système d'observations simultanées qui commençait à s'organiser en Europe et en Amérique, viendraient lui assurer une certaine consistance. J'en avais à peine tracé les premiers délinéaments que je crus pouvoir en faire une application tant soit peu téméraire à la prévision de la sécheresse de 1870 et au grand hiver qui devait la suivre. Notre cher et regretté collègue, M. Charles Sainte-Claire Deville, toujours si bienveillant pour les débutants en météorologie, ayant attiré l'attention de l'Académie des sciences sur le succès de cette prévision, je pensai que j'étais mis en demeure d'exposer même d'une manière prématurée une théorie encore fort chancelante et qui était, je n'ose pas dire publiée, mais plutôt soustraite à la publicité dans un modeste recueil de province.

Une seconde application de ma théorie aux caractères généraux de l'année 1872, puis une troisième à la prévision de l'hiver si doux de 1874, me déterminèrent à en présenter à l'Académie un nouvel exposé qui resta fort incomplet par suite des coupures qu'il dut subir pour se blottir dans le lit de Procuste des comptes rendus. Vers la même époque, j'ai eu l'honneur de la présenter d'une façon plus développée à la Société de météorologie; elle fut publiée dans l'Annuaire de la même année (1874), elle reçut l'hospitalité dans les colonnes de la *Revue des deux mondes;* enfin, à la demande de quelques collègues de province, j'en fis un nouvel exposé pour le Congrès météorologique de Poitiers, et elle fut imprimée dans le premier numéro des comptes rendus publiés par le comité météorologique de la région de l'Ouest océanien.

Dans la dernière communication que j'eus l'honneur de faire en 1875 à la Société de météorologie, j'exprimai l'espoir que ma théorie, encore fort hypothétique, serait confirmée par les recherches ultérieures de la météorologie synoptique; j'ignorais alors les travaux si remarquables de notre savant collègue M. Brault; ils n'avaient pas en-

core été publiés et bien que leur auteur ait tiré de ses recherches des conclusions que je ne saurais admettre sans restrictions, je n'en range pas moins son œuvre parmi les pièces justificatives les plus éloquentes que je puisse produire à l'appui de mes propres idées. D'un autre côté, une des principales propositions de mon système, celle qui est reproduite dans tous les fragments que j'ai publiés depuis dix ans, savoir : que les mouvements tournants ou cyclones sont dus à l'action toute mécanique résultant du frottement de deux courants aériens animés de vitesses différentes, a eu la bonne fortune d'être adoptée par un savant astronome dans les excursions qu'il a bien voulu faire dans le domaine météorologique. Je ne puis que m'honorer et me féliciter de cette adoption.

Encouragé par ces adhésions indirectes, je résolus d'appliquer hardiment mes doctrines à la prévision du temps et de publier chaque jour dans les journaux de Tours un bulletin dans lequel ces prévisions seraient consignées à des échéances plus éloignées. L'arbre serait alors jugé par ses fruits. Pendant trois ans consécutifs, j'ai mis sous les yeux du public d'Indre-et-Loire mes prévisions en présence de celles de l'Observatoire, et j'ai dû signaler les cas où ces dernières étaient en défaut. C'est ainsi que pendant l'hiver si doux de 1876 à 1877 j'ai dû déclarer, à plusieurs reprises, que les froids annoncés par le bulletin international ne se produiraient pas dans notre région. Déjà l'année précédente j'avais annoncé une tempête pour les côtes algériennes, cette fameuse tempête du 12 janvier 1876, qui n'ayant pas été annoncée par l'Observatoire devint dans les journaux d'Alger (voir le *Mobacher*) l'objet d'assez vives récriminations.

Lorsque M. Marié-Davy, chargé de la direction du service météorologique à l'Observatoire, eut montré le véritable caractère de nos tempêtes d'Europe et mis hors de doute le mouvement giratoire de ces météores, cette idée féconde qui constituait un des progrès les plus importants de la météorologie moderne, fut adoptée partout avec empressement.

Cette théorie des mouvements tournants ne tarda pas à faire du chemin; elle en fit même peut-être trop. Tombés sur certains terrains, les germes de cette théorie donnèrent naissance à une végétation un peu exubérante.

Sous le prétexte spécieux qu'il n'y a qu'une mécanique dans l'univers, tous les mouvements giratoires furent attribués à une cause unique, à un mécanisme identique; tous, sans exception, depuis le cyclone de 200 lieues de diamètre jusqu'à la trombe grosse comme une cheminée d'usine, jusqu'aux petits tourbillons qui soulèvent en spirale la poussière et les feuilles mortes, jusqu'à ces minuscules tempêtes tournantes qui, au milieu du calme absolu d'une belle journée d'été, *aspirent* et soulèvent à de grandes hauteurs les brindilles d'une meule de foin.

Si, à l'Observatoire, on s'abstenait sagement de ces visées trop audacieuses, on tombait sur un autre écueil. Comme on n'y rattachait la formation des mouvements tournants à aucune théorie, on se bornait à signaler la bourrasque, *prolem sine matre creatam,* sans laisser entrevoir aucune raison de l'apparition de ce météore dans un endroit plutôt que dans un autre.

Et pourtant dans ce labyrinthe si compliqué de dépressions et de bourrasques, il y avait un fil d'Ariane qu'il aurait fallu saisir et ne jamais abandonner. C'était l'idée exprimée en termes si pittoresques par M. Marié-Davy : Les bourrasques indiquent l'existence d'un courant aérien, comme des bouées flottantes indiquent celle d'un courant d'eau. Cette phrase contient en germe le seul principe essentiel sur lequel on puisse, dans l'état actuel de la science, fonder parfois quelques prévisions.

On ne saurait adresser le reproche de timidité à quelques météorologistes américains. La direction du célèbre journal le *New-York Herald* envoie de temps à autre à l'Observatoire de Paris des télégrammes où sont annoncés, en termes quelquefois un peu obscurs, certains faits météorologiques qui sont loins d'être toujours réalisés. L'Obser-

vatoire les enregistrait avec toute la déférence due à l'opulent journal qui a eu la gloire de doter le monde d'un voyageur de la taille de l'illustre Stanley, mais il n'a jamais attiré l'attention des lecteurs du bulletin sur la justesse de ses prévisions télégraphiques. Il avait, sans doute, de bonnes raisons pour cela. Nous n'en devons pas moins une grande reconnaissance au puissant journal, pour l'initiative hardie qu'il a bien voulu prendre et dont nous pouvons tirer parti *à titre de renseignements*. On peut soupçonner que la méthode employée par ces météorologistes consiste en ceci : les bourrasques, ou ce que les Américains appellent plus correctement les *areas of low pressure,* se dirigent généralement des côtes de la Nouvelle-Angleterre vers l'Europe. Les météorologistes de New-York, avertis par l'admirable système télégraphique organisé par le *Signal office* de Washington, savent qu'une bourrasque signalée au large du cap Hatteras, par exemple, se dirige vers le N. E.; ils connaissent, d'ailleurs, la vitesse moyenne de translation de ces météores, et d'après ces données ils estiment que celui-ci arrivera tel jour en tel point de l'ancien continent, comme on peut calculer le jour d'arrivée à Liverpool d'un vapeur parti de New-York. Si c'est là, et je n'ose l'affirmer, la base des avertissements du *Herald,* il faut bien en reconnaître le peu de solidité et ne pas s'étonner que les bourrasques manquent souvent au rendez-vous qu'on leur assigne. Une minime déviation angulaire dans la direction de la trajectoire observée au départ suffit pour faire varier le point d'arrivée du centre du météore des côtes de Laponie à celles du Portugal. Mais là n'est pas le côté le plus faible du système.

La giration des bourrasques, résultant du frottement de l'air en mouvement contre l'air relativement calme que forme la rive d'un courant aérien, est un phénomène essentiellement passager, contingent d'une durée forcément limitée, dépendant de l'énergie très variable du couple de torsion qui l'a produit. Si le phénomène atteint une grande intensité, le mouvement de rotation peut persister sur un long parcours, des côtes d'Amérique à celle de l'Europe; mais bien souvent aussi l'énergie initiale de la rotation est insuffisante pour amener un pareil effet, et, bien avant son arrivée sur nos côtes, le mouvement est éteint, la dépression comblée. D'un autre côté, un mouvement tournant peut prendre naissance sur la ligne de parcours ordinaire et, sans s'être montré en Amérique, aborder nos côtes à l'improviste. Enfin, comme ces mouvements giratoires plus ou moins accentués se suivent d'ordinaire à la file sur cette même ligne de parcours, rien n'empêche que l'un d'eux aborde les Iles Britanniques la veille, le lendemain ou le jour même indiqué par la dépêche américaine; il peut n'avoir rien de commun avec celui que la dépêche a signalé, mais les habitants de la côte qui reçoit le télégramme et la tempête n'y regardent pas de si près, et le triomphe de la prophétie n'est pas contesté. Certains mouvements tournants d'une violence exceptionnelle, tels que celui qui, le 13 août 1788, promena des orages du Portugal au centre de la Russie, ont été pris à tort pour des types et ont servi à propager l'opinion que je trouve exprimée dans les termes suivants à la page 618 de l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour l'année 1875 : on sait que les cyclones naissent généralement dans les régions équatoriales, décrivent d'*immenses* trajectoires d'une régularité presque géométrique et produisent sur leur passage *tous les changements de temps* (?). Un autre météorologiste va encore plus loin. C'est aux pieds des montagnes Rocheuses qu'il établit une sorte de fabrique de tempêtes tournantes; de là armées pour une longue course, on les voit traverser les États-Unis, l'Atlantique, l'Europe et entrer dans le continent asiatique; là, l'auteur les perd de vue, mais il les retrouve en bon état de service dans la mer d'Ochostk; il ne leur en coûte pas plus de traverser le Pacifique, d'atteindre l'Orégon et de revenir au bercail, un peu fatiguées d'un si long voyage, mais toutes prêtes à recommencer leur périple après avoir puisé une nouvelle provision d'énergie sur le sommet du Pike's Peak.

La cause de ces erreurs réside dans la confusion que l'on fait entre les mouvements

giratoires de l'air et les grands courants aériens dans lesquels ils prennent naissance, qui les entraînent dans leur cours et hors desquels ils n'ont aucune raison de se produire. La véritable cause de ces météores s'impose irrésistiblement à l'esprit, quand on considère la position géographique des régions où ils atteignent la plus grande violence. Ce sont celles où des courants atmosphériques, de sens contraire, peuvent se trouver accidentellement en contact; là sont les Antilles et les États orientaux de l'Union américaine, où la branche ascendante du Gulf-stream aérien est mise parfois en contact avec le courant qui descend si fréquemment du Nord à travers le continent de l'Amérique du Nord; les parages des Mascareignes où l'alizé S. E. est exposé à rencontrer les courants des moussons; enfin, la région des moussons elle-même, où les cyclones se produisent surtout en avril et en octobre, aux époques où le renversement de la mousson met en contact les derniers courants du Nord avec les premiers courants du Sud, et réciproquement.

Sans revenir ici sur le système de circulation atmosphérique que j'ai exposé dans les articles, notes ou mémoires précités, ce qui aurait pour effet d'allonger outre mesure une communication déjà trop longue, je me bornerai à remettre sous les yeux de la Société la partie de ma théorie qui intéresse le continent européen.

Un vaste courant d'air traverse sous le nom d'alizé la région de l'Atlantique comprise entre l'équateur et le tropique du Cancer, dans la direction moyenne du N. E. au S. W.; il se redresse vers le Nord, à la hauteur des Antilles, côtoie les États du sud de l'Union américaine, et revient du S. W. au N. E. vers l'Europe. Là il coule vers l'Est, puis vers le S. E. à travers le continent, se dirige vers le Sud à travers l'Europe orientale, parcourt l'Asie Mineure et l'Égypte, en s'inclinant de plus en plus vers l'Ouest, et reparaît au large des côtes sahariennes, où il rejoint son point de départ. Il constitue ainsi une sorte de fleuve circulaire dont la largeur, la vitesse d'impulsion et la position géographique varient et oscillent suivant les saisons autour de la position moyenne que je viens d'indiquer. La branche de ce courant marchant du S. W. au N. E à travers l'Atlantique porte le nom assez impropre de courant équatorial; la branche de retour, qui descend du Nord au Sud à travers le continent porte le nom plus impropre encore de courant polaire. Je conserve cependant ces deux vocables parce qu'ils sont généralement employés et me dispensent d'une périphrase ou d'un néologisme; la branche équatoriale, que j'appelle aussi le *gulf-stream* atmosphérique, amène sur l'Europe occidentale l'air humide qu'elle a recueilli sur son congénère marin dont elle tient longtemps le cours, assure à cette partie du globe ses précieux privilèges météorologiques, ce climat tempéré et humide qui la caractérise. La branche descendante ou polaire qui a déposé sous forme de pluie ou de neige les vapeurs de l'Atlantique en alimentant les nombreux réservoirs d'eau douce du nord de l'Europe, charrie du Nord au Sud un air relativement sec qui, s'éloignant de plus en plus du point de saturation à mesure qu'il atteint des latitudes plus chaudes, produit ces vents secs du Nord, trait le plus saillant du climat de l'Europe orientale. Ce circuit aérien circonscrit naturellement une région plus ou moins étendue dans laquelle l'air ne possède que des mouvements lents, indécis, provoqués par des causes locales et que je désigne sous le nom de zone des calmes ou des hautes pressions; le tracé des isobares sur la carte d'Europe dessine très bien d'ordinaire une partie du contour de cette zone, trop grande pour être comprise en entier dans les limites de la carte, et qui est indiqué par l'isobare de 760mm [1]. En dedans de cette ligne limite, les isobares s'échelonnent en lignes concentriques par

[1] Dans les nouvelles cartes quotidiennes publiées par le bureau central de météorologie, et qui ont été si heureusement améliorées depuis que ce service est devenu indépendant de l'observatoire astronomique, on a eu l'excellente idée d'indiquer cette isobare par un trait plus large et plus foncé.

degrés croissants de la circonférence vers le centre; en dehors, elles sont disposées, au contraire, par degrés décroissants jusque vers le milieu du courant ambiant, vers ce qu'on pourrait appeler le thalweg du fleuve aérien. Au delà de cette isobare de pression minima, les isobares s'échelonnent par degrés croissants jusqu'à la rive extérieure ou rive gauche, formée par des masses aériennes où règnent des pressions élevées; hâtons-nous de dire que cet état idéal consistant en un vaste ilot de hautes pressions, entouré par un fleuve atmosphérique au cours paisible et régulier tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, est rarement réalisé, mais les cartes de l'observatoire en offrent cependant quelques exemples; le cours de ce fleuve est troublé par des mouvements tournants plus ou moins étendus, déterminés par le frottement de ses ondes sur la rive concave qui la limite extérieurement. Le sens de la rotation de l'air dans ces météores est celui qu'affecterait une roue horizontale assujettie à rouler sur la rive gauche extérieure de ce courant, c'est-à-dire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Les isobares s'échelonnent par degrés décroissants de la circonférence vers le centre, et leur tracé sur la carte est la projection sur un plan horizontal d'une sorte d'hélice enroulée sur un cône à axe vertical ayant le sommet en bas. Ces lignes, que l'absence de renseignements ne permet pas toujours de tracer complètement, troublent la régularité des tracés des isobares de notre distribution théorique de la pression, et masquent parfois complètement la véritable direction générale du transport de l'air. Il arrive aussi que le courant principal se bifurque comme le *gulf-stream* marin se bifurque lui-même près des côtes d'Europe, l'une des branches se dirigeant vers la mer Glaciale, tandis que l'autre redescend du Nord au Sud vers les côtes d'Afrique; ainsi, il n'est pas rare de voir le courant aérien venir de l'Atlantique et se diviser en deux branches devant une sorte de promontoire formé par une zone de hautes pressions s'avançant en pointe du continent asiatique vers l'Europe centrale. Tous ces accidents, dus naturellement à l'extrême mobilité des masses aériennes qui sont en jeu et influencées par des causes qui nous échappent encore, rendent souvent, et surtout en été, quand les isobares sont très espacées et les dépressions peu accentuées, la situation atmosphérique très difficile à préciser et les prévisions fort incertaines.

En hiver, la situation est en général plus accentuée et plus nette; le voisinage de la zone des hautes pressions polaires, qui s'est rapprochée de nous, l'accélération du mouvement de l'air dans le fleuve aérien, qui a pour conséquence le resserrement des isobares, la fréquence plus grande et le creux plus accentué des bourrasques, tout contribue à mieux préciser la situation. Il arrive souvent, dans cette saison, que notre zone des calmes ne se trouve plus comprise dans les limites de la carte; son bord le plus septentrional passe par les Açores, Madère, les Canaries; alors les hautes pressions polaires, la rive gauche rarement visible du fleuve aérien, apparaissent dans les hautes latitudes; nous voyons alors les isobares de 770, 775, 780 se montrer en longues lignes presque parallèles à l'angle N. E. de la carte, simulant les marches d'un gigantesque escalier descendant vers le S. W.; le fleuve aérien qui la côtoie traverse l'Europe centrale et occidentale du N. W. au S. E., charriant dans son cours des bourrasques chargées de pluie et de neige, et c'est l'œil constamment fixé sur ces deux zones qui forment les deux rives du courant, et sur leurs déplacements, toujours assez lents, que nous pouvons asseoir nos prévisions sur des bases d'une certaine solidité.

Prenons quelques exemples ; admettons, ce qui est un cas fréquent, que l'isobare de 760 s'étend en lignes sinueuses et ondulées des côtes du Maroc à la Crimée en passant par Barcelone, Besançon, Vienne, Lemberg, Kieff et Nicolaïef; qu'au Sud de cette ligne qui tourne sa convexité vers le N. W. les pressions aillent en croissant, que les isobares de 755, 750, s'échelonnent par degrés décroissants vers le N. W. en formant des lignes enveloppantes et parallèles à la première, cette figure parle aux yeux : la zone des calmes occupe le Sud de la carte; le beau temps règne sur la Méditerranée et l'Al-

gérie, sur le S. E. de la France, la Suisse, l'Italie, la Hongrie, les provinces danubiennes; le courant équatorial aborde l'Europe par le nord de l'Espagne, recouvre le golfe de Gascogne, une grande partie de la France, les îles Britanniques, la presqu'île Scandinave, et redescend vers le S. E. à travers la Russie. Les bourrasques vont se succéder sur ce long itinéraire, remuant sur leur passage les grands vents, les pluies et les orages suivant la saison, et laissant entre elles des accalmies et parfois de longues et belles éclaircies. Admettons maintenant que l'isobare de 760 s'étende du nord de l'Écosse à la Sicile, qu'au S. W. de cette ligne, et parallèlement se développe l'isobare de 765; nous en concluons que la zone des calmes recouvre l'Atlantique et le S. W. de l'Europe, et que la direction générale du transport de l'air est du N. W. au S. E. à travers l'Europe, centrale, de la mer du Nord à la mer Noire. Les conclusions qui découlent de cette situation, d'ailleurs si fréquente, pour le temps probable à la surface de l'Europe, sont faciles à tirer en tenant compte de la saison où l'on se trouve. Autre exemple : l'isobare de 760 passe par les îles Shetland, Boulogne, Bordeaux, Malaga; les autres lignes s'échelonnent parallèlement à celle-ci et par degrés décroissants de l'Atlantique vers le continent; nous concluons au beau temps pour l'Europe occidentale et nous prévoyons que le transport de l'air du Nord au Sud, à travers le centre de l'Europe, va promener les bourrasques dans cette direction, que leur bord occidental qui est le bord dangereux et où règnent les vents d'entre N. W. et N. E., va répandre la pluie ou la neige, suivant la saison, sur l'Allemagne, la Belgique et l'est de la France, et que les mauvais temps vont atteindre la Méditerranée et l'Algérie (voyez la carte du Bulletin du 12 janvier 1876). Ceux qui croient que toutes les tempêtes viennent directement de l'Atlantique et qui, l'œil fixé sur Valentia, sont sans inquiétude à la vue rassurante de la pression de 766 signalée dans cette station, pourront être un peu déconcertés par une tempête du Nord qui s'est déchaînée à l'improviste sur Boulogne et Dunkerque (voir les bulletins des environs du 7 mars 1877).

Je ne veux pas abuser de l'attention de la Société en multipliant des exemples qu'on peut varier à l'infini, mais j'espère que le peu que je viens de dire suffira pour donner une idée de la méthode qui peut conduire parfois à quelques prévisions heureuses; cherchons toujours et avant tout à déterminer la position de la zone des calmes, à en dessiner le contour, à en suivre les déplacements et les fluctuations, ce qui n'est pas toujours facile, et restons assurés que c'est dans le courant aérien qui côtoie cette zone dans un sens de rotation invariable que nous rencontrerons bourrasques et tempêtes et que nous ne les trouverons que là.

En supposant même qu'on soit privé de la ressource des cartes du bulletin, il suffit souvent de connaître les cotes barométriques de cinq stations bien choisies sur le contour de la France, pour pouvoir formuler quelques prévisions. C'est ainsi que je publie dans les journaux de Tours la cote barométrique, la température, le vent, l'état du ciel et de la mer pour les cinq stations suivantes : Dunkerque, Lorient, Biarritz, Marseille et Besançon. Avec ces données, on peut se faire une idée assez nette de la situation atmosphérique et des changements qu'elle doit subir. Le service agricole de l'Observatoire a adopté cette manière de voir, car dans ses dépêches quotidiennes aux communes, il se borne à indiquer la cote barométrique de trois ou quatre stations françaises. Parfois il n'en donne que deux; c'est insuffisant.

Permettez-moi d'appeler votre attention sur la nécessité de signaler avant tout, dans les tableaux météorologiques, la direction des nuages dans les couches inférieures et supérieures de l'atmosphère, et à ne pas se borner à enregistrer les directions des girouettes. En pleine mer ou dans les régions de grandes plaines, les directions des nuages de la couche inférieure et celles des vents de surface sont presque toujours concordantes; mais dans le voisinage des côtes, près des grands massifs montagneux ou le long des vallées, ces divergences sont grandes et fréquentes. Dans nos observations

de Tours, bien que nous soyons dans une région peu accidentée, ces divergences, quoique rares, ne sont pourtant pas sans exemple, et c'est toujours la direction des nuages inférieurs que nous publions. Ainsi, bien que j'aie choisi Biarritz au nombre des stations dont je publie les renseignements dans mes bulletins de Tours, à cause de la régularité et de la justesse des observations qui y sont faites, je ne tiens aucun compte dans mes appréciations des mouvements généraux de l'air, de la direction du vent indiqué dans ce poste à cause de sa proximité de la chaîne des Pyrénées; sur ce point, l'opinion des météorologistes est, je crois, unanime, et M. Hildebrandsson, dans une publication récente, l'a encore exprimée avec l'autorité qui lui appartient. On comprend, d'après cela, l'importance particulière que doivent prendre, au point de vue des prévisions, les directions signalées par les stations élevées sur des pics isolés, tels que le pic du Midi et le Puy-de-Dôme, où veillent les vaillantes et vigilantes sentinelles que vous savez; si j'insiste de nouveau sur cette question, c'est qu'elle a une importance capitale quand il s'agit de tirer de la discussion des journaux de bord des conclusions relatives aux mouvements généraux de l'atmosphère. Le marin ne s'inquiète que des vents de surface; peu lui importe la direction du vent à 200 mètres au-dessus de ses barres de perroquet. Dans les grandes mers libres, à de grandes distances des côtes, le vent de surface indique le plus souvent, pour ne pas dire toujours, la direction générale du transport de l'air, mais dans le voisinage des côtes et surtout des côtes arides et sablonneuses de l'Afrique, entre le Maroc et le Sénégal par exemple, où sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud, il peut et il doit en être tout autrement. Si donc j'accepte avec confiance les résultats si importants de Maury et de Brault, quand il s'agit de choisir les meilleures routes maritimes à suivre dans une région et à une époque données, je ne peux accepter sans hésitation leurs conclusions quand il s'agit de mouvements généraux de l'atmosphère.

Enfin, Messieurs, je vous demanderai la permission en terminant ce long exposé de vous présenter une humble et timide hypothèse. Ces déplacements des zones de calmes et de hautes pressions auxquelles se rattachent si étroitement les vicissitudes du temps ne pourraient-ils pas être influencés par les phases de notre satellite? Oh! rassurez-vous, je ne vous parlerai ni de lunistice ni d'équilune. Cette marée atmosphérique, dont Laplace a montré l'extrême faiblesse, ne suffirait-elle pas pour déterminer quelque déplacement dans ces masses aériennes si mobiles et dans les courants qui les circonscrivent? C'est une simple question que je pose, n'ayant encore aucun élément sérieux pour la résoudre, mais que d'autres plus heureux ou plus habiles parviendront peut-être à éclaircir. J'avoue que je n'ai jamais pu partager complètement l'opinion dédaigneuse de certains savants à l'endroit de ce qu'ils appellent les préjugés des paysans et des marins. La leçon de météorologie pratique que les sauvages pêcheurs malgaches ont donnée, à l'île de Saint-Paul, aux savants de l'expédition française, est faite cependant pour inspirer de sages réflexions à ceux qui sont toujours prêts à nier ce qu'ils ne peuvent expliquer. On connaît et l'on approuve le vieil adage : *Plus potest negare asinus quam probare philosophus*. Mais combien est plus vraie, *a fortiori*, la même proposition mise à l'envers : *Plus potest negare philosophus*, etc. Supposez qu'au siècle dernier un pauvre paysan ait été raconter à un académicien qu'il avait vu une grosse pierre tomber du ciel à la suite d'un tonnerre épouvantable. L'académicien lui aurait ri au nez et lui eût conseillé d'aller se faire soigner dans un hospice d'aliénés. La légende des pluies de pierres était alors mise au rang des plus méprisables contes populaires, et ce dédain devait durer jusqu'à la célèbre chute des aérolithes de Laigle officiellement constatée par Biot, délégué de l'Académie. Le paysan qui croit que le tonnerre tombe quelquefois en pierre est-il donc si absurde et son témoignage doit-il être considéré comme non avenu? L'ignorance de l'observateur, la pauvreté de son vocabulaire excusent la naïveté et quelquefois l'absurdité de ses explications; mais la faculté d'ob-

servation, qui est souvent en raison inverse de la culture intellectuelle, n'en existe pas moins chez lui, et ce qu'il raconte comme témoin oculaire mérite d'être pris en considération, au moins sous bénéfice d'inventaire. La théorie de la zone des calmes et du rôle que jouent ses fluctuations dans les changements de temps a l'avantage de nous débarrasser d'une des objections favorites des anti-lunistes. Ils vous disent : Une phase de la lune fait varier le temps du beau au mauvais dans un lieu, mais cent ou deux cents lieues plus loin le temps n'a pas changé, et plus loin encore il a passé du mauvais au beau, et cependant la lune luit pour tout le monde ! Donc elle n'a aucun effet sur les changements de temps. Le beau raisonnement en vérité ! Avec la même puissance de logique, on va vous démontrer, à votre grande surprise, que les événements politiques n'ont aucune influence sur la fortune des particuliers. Supposons que nous ignorions le mécanisme des opérations de bourse, comme nous ignorons celui de l'action lunaire. Une menace de guerre, le retrait d'un ambassadeur, le vote d'une assemblée ont été suivis de la faillite d'une maison de banque, et, par le plus commun des sophismes : *Post hoc, ergo propter hoc,* vous attribuez sa ruine à cet événement; mais vous oubliez qu'à la suite du même événement, une autre maison n'a ni perdu ni gagné, et qu'enfin une troisième banque a encaissé des millions; donc l'événement en question n'a pu exercer aucune influence sur les finances de ces messieurs ! C'est clair comme le jour.

Eh bien ! admettez un instant que, la zone des calmes reposant sur l'Europe centrale, l'équatorial marche du Sud au Nord sur nos régions occidentales, semant sur son passage orages et pluies; la branche polaire ou branche de retour traversera l'Europe orientale du Nord au Sud où régnera un temps clair avec vent du Nord âpre et desséchant, tandis que le calme et le temps le plus agréable régneront au centre du continent. Vient une syzygie lunaire, qui a pour effet d'amener en quelques heures un pauvre petit déplacement d'une cinquantaine de lieues de la zone des calmes vers l'Ouest; le temps devient superbe à Paris, où le baromètre a remonté de 10 millimètres; il ne varie pas à Vienne qui n'a pas cessé d'être dans la zone des hautes pressions, tandis que Moscou, sortant du courant polaire qui s'est déplacé vers l'Ouest, entre dans une nouvelle zone de pressions élevées s'avançant des profondeurs de l'Asie et où règnent des calmes et des brumes épaisses. Enfin, Posen et Varsovie qui jouissaient du plus beau temps et d'une douce température, étant sortis de la zone des calmes de l'Europe centrale, voient arriver une méchante bise du Nord froide et désagréable. L'influence de la syzygie a donc ramené le beau temps à Paris, maintenu le beau temps à Vienne, et modifié très différemment le temps de Posen, Varsovie et Moscou. Que pensez-vous de la valeur de cette conclusion ? La syzygie n'a rien produit du tout; elle a lieu à la fois pour tout le monde, et il était de son devoir, si elle avait la moindre influence, d'amener partout le même temps. Elle ne l'a pas fait, donc elle n'en a aucune; ce qu'il fallait démontrer.

Messieurs, la météorologie française vient d'entrer dans une voie nouvelle. Un décret récent, rendu sur les instances pressantes de tous ceux qui chez nous s'intéressent et concourent à ses progrès, vient d'arrêter les effets du funeste décret du 13 février 1873 et rendre à cette belle science son autonomie et son indépendance. Le découragement qui commençait à gagner ses plus anciens serviteurs a fait place à une ardeur nouvelle, lorsqu'ils voient à leur tête un savant physicien chez lequel le talent et l'autorité scientifique n'excluent ni la bienveillance ni l'aménité. Les intérêts de la science ne disparaîtront plus, espérons-le, devant les questions de personnes, les récriminations et la discorde, et soyons certains qu'à l'avenir, aux grandes assises météorologiques de l'Europe tenues dans l'une de ses capitales, la France viendra s'asseoir parmi ses sœurs et que notre patriotisme n'aura plus à souffrir, comme au dernier Congrès de Vienne, de ne la voir briller que par son absence.

Annexe n° 4.

LES COURANTS AÉRIENS,

PAR M. LE Cte SANSAC DE TOUCHIMBERT.

La météorologie n'a pas de meilleurs adeptes que ceux qui étudient la nature et, par contre, elle n'a pas de plus rudes adversaires que les purs théoriciens.

Les études de cabinet, avec toutes les ressources de la physique et de la chimie, entraînent souvent à des assimilations contraires à la vérité naturelle des faits : la grandeur et la complexité des phénomènes atmosphériques ne sauraient être comparées aux petites expériences faites dans nos laboratoires.

Les ascensions aérostatiques n'ont pas donné jusqu'ici les résultats qu'on pouvait en attendre. La mobilité du ballon, sa vitesse ascensionnelle inégale à travers les couches atmosphériques, sa dépendance du courant dans lequel il est plongé, ne permettent pas aux observateurs de se rendre un compte exact des phénomènes qui les entourent.

Les observations de montagne se bornent à des études de climatologie, et s'il est vrai, comme l'affirme M. Tissandier, que les courants aériens suivent, dans une mesure qui reste à définir, les reliefs du sol, il en résulte que l'observateur dans les montagnes n'est pas sensiblement mieux placé pour l'étude des courants aériens que l'observateur de la plaine.

Je crois donc que, pour étudier les grands phénomènes de l'atmosphère, il n'est pas besoin de s'élever à des altitudes considérables et que partout on peut trouver des lieux d'observation aussi satisfaisants que possible. Cependant les contrées méridionales présentent des conditions très favorables, à cause de la transparence de l'air, et peut-être aussi eu égard à la proximité des causes initiales des phénomènes météorologiques.

J'ai eu l'avantage d'étudier les courants nuageux aériens sous diverses latitudes et à des altitudes différentes : en France d'abord, ensuite sur mer pendant de longues traversées à la voile d'Europe en Amérique, et surtout aux Antilles, où j'ai séjourné trois années.

Dans ces différentes positions géographiques, j'ai toujours constaté les mêmes phénomènes en ce qui concerne les courants aériens.

Sous les tropiques, dans les dernières régions aqueuses de l'atmosphère, on rencontre fréquemment d'immenses traînées nuageuses, ayant la forme de queues cométaires ou d'épées gigantesques et dirigées d'un pôle magnétique à l'autre. M. de Humboldt a décrit, dans son *Cosmos*, ces sortes de nuages, qui ont reçu le nom de bandes polaires. En France, on voit parfois ces bandes polaires, mais ce spectacle est rare, les nuages les plus élevés sont les cirri.

Sous ces bandes polaires ou sous les cirri s'étagent parfois trois ou quatre courants et dans les positions qui suivent :

1° Tous les courants sont sensiblement parallèles entre eux et se dirigent dans le même sens;

2° Tous les courants sont sensiblement parallèles entre eux et se dirigent en sens contraire en alternant;

3° Tous les courants sont sensiblement parallèles entre eux et se dirigent en sens contraire par couples de deux, c'est-à-dire que les deux plus élevés marchent dans le même sens et les deux plus près de terre dans le même sens, mais en sens contraire aux deux premiers;

4° Tous les courants sont sensiblement perpendiculaires entre eux.

Le ciel présente, depuis le zénith jusqu'à l'horizon sensible, une série de ces traînées nuageuses ordonnées suivant une de ces quatre positions et espacées entre elles par des intervalles libres de toute vapeur visible, plus ou moins distantes des traînées nuageuses [1]. Au zénith, cette séparation est sensible, mais mal définie, tandis que, à mesure qu'on approche de l'horizon, les traînées nuageuses sont parfaitement délimitées par des lignes courbes et les intervalles clairs disparaissent de plus en plus. Lorsque cet arrangement n'existe pas, cela tient à ce que la lutte est vivement engagée entre tous ces courants et que le mauvais temps approche ou est déjà rendu.

Dans toutes les positions des traînées nuageuses, le courant supérieur ramène tous les courants inférieurs à sa direction, si bien que, lorsqu'on peut apercevoir la direction du courant supérieur, on peut préciser la direction que prendra prochainement le courant inférieur. En été, ces changements de direction ont lieu très rapidement; en hiver, il faut douze ou quinze heures.

Les changements de direction, sous la dépendance du courant supérieur, se font par étages de courants aériens: le plus élevé ramène à sa direction celui qui est immédiatement placé au-dessous de lui; celui-ci agit de la même façon à l'égard de celui qui est immédiatement au-dessous de lui, et ainsi de suite jusqu'au courant de terre.

Ce travail s'opère sous les yeux de l'observateur, et l'on peut en suivre facilement toutes les phases, surtout dans les derniers courants aériens placés le plus près de nous. Ces luttes offrent à l'observateur attentif un spectacle très intéressant et des plus grandioses.

Prenons deux courants de cumulus, pour exemple, et supposons qu'ils sont parallèles et marchent en sens contraire. Dès que les masses nuageuses de ces deux courants sont en présence et cherchent à se superposer, on constate une hésitation dans leur marche; un temps d'arrêt se forme.

Si le nuage inférieur présente des flocons légers à sa partie antérieure, on les voit se contourner comme la vapeur qui sort des cheminées de nos machines à vapeur, puis se fondre et disparaître entièrement.

Les deux nuages s'abordent sans se toucher, refoulés par les masses qui les suivent et en conservant leur distance.

Le nuage inférieur trahit de suite sa faiblesse, en cherchant une issue et en prenant une direction contraire; mais il perd dans cette manœuvre une partie de sa force et de sa matière aqueuse. Pendant ce temps, le nuage supérieur, après avoir supporté quelques pertes dans ses parties avancées, se tient ferme, recule parfois, mais reprend vite l'offensive; ses crêtes arrondies roulent les unes sur les autres dans la direction imprimée au courant, comme si elles se distendaient; il gagne du terrain à l'avant sans que sa partie postérieure se déplace.

Si le nuage inférieur n'a pas pu échapper à l'influence de son adversaire et qu'il soit sensiblement moins volumineux que lui, il se contourne et ses bribes les plus voisines de son adversaire s'unissent au courant supérieur en prenant la même direction que lui. Dans ce cas, il paraît s'être dédoublé et l'opacité du nuage supérieur augmente visiblement.

Si le nuage inférieur se présente avec une grande masse, il passe au-dessous du su-

[1] Les vapeurs invisibles contenues dans l'air, en se transformant en nuages, se condensent dans un espace moindre, d'où l'intervalle qui existe entre chaque traînée nuageuse.

périeur sans éprouver de fortes pertes, et le dépasse pour livrer de nouveaux combats; mais il sort amoindri, à chaque lutte, dans son volume, et se fond ou disparaît après des engagements successifs. Le courant supérieur de cumulus a dès lors amené son inférieur à sa direction.

Cette lutte a lieu à tous les étages des traînées nuageuses, toutes les fois que le courant le plus élevé, composé de bandes polaires ou cirri, ne marche pas dans la même direction que le courant de terre.

La distance entre les traînées nuageuses ne paraît pas diminuer lorsqu'elles sont en présence; il n'y a jamais d'abordage direct; c'est donc par influence que les courants sont modifiés.

Toute théorie qui ne tiendra pas compte de ces phénomènes n'apportera aucun progrès aux études météorologiques.

Le courant ascendant existe sous la première traînée, la plus près du sol, mais il ne saurait, sans être vu, traverser les trois ou quatre autres traînées nuageuses. Et s'il avait la force ascensionnelle qu'on veut lui attribuer jusqu'aux limites de l'atmosphère, le baromètre, sous les tropiques, aurait des oscillations de jour et de nuit très accentuées; or on sait qu'elles sont à peine sensibles et que la moindre dépression indique la venue d'un cyclone. Sur les hautes montagnes, le thermomètre descend parfois à 12 ou 13 degrés centigrades; dans ces conditions, le courant ascendant devrait se produire et le baromètre présenter de grands écarts. Rien de tout cela n'existe sous les tropiques : le baromètre est presque invariable sur le bord de la mer comme sur les plus hautes montagnes.

Si le courant ascendant se borne à un remous dans les couches inférieures, et si le courant supérieur dirige tous les autres courants, il faut chercher, dans les sphères les plus élevées, l'explication des phénomènes météorologiques.

Le soleil paraît être le grand ordonnateur de toutes ces mystérieuses évolutions.

Si nous osions hasarder une théorie, nous dirions très timidement que nous avons cru voir souvent dans ces phénomènes une superbe application des lois d'Ampère sur l'électro-dynamie. Si ces lois existaient, les orages, les grêles, qui suivent des trajectoires définies et parfois sur plusieurs lignes parallèles très espacées, telles que celles de l'orage de 1788, trouveraient une explication dans l'ordonnancement de ces traînées nuageuses.

Les trombes, les cyclones ne pourraient-ils pas aussi être le résultat d'une manifestation rapide dans la transmission du mouvement partant du courant supérieur et se transmettant aux courants inférieurs ?

On voit assez fréquemment en France d'immenses bandes nuageuses allant d'un pôle à l'autre et qui s'échappent d'une couronne blanche située au pôle nord magnétique; sauf les brillantes couleurs de l'aurore, ces nuages simulent parfaitement une aurore polaire. Plusieurs observateurs ont été témoins de ce spectacle et on a constaté fréquemment une concordance entre ce phénomène et celui des aurores boréales. J'ai vu plusieurs de ces aurores boréales blanches; ce spectacle, toutefois, ne s'est présenté à mes yeux que le matin au lever du soleil, d'où j'ai pensé qu'il pouvait être la dernière manifestation visible d'une aurore puissante apparue la veille au pôle boréal; j'ai même eu une fois la confirmation de cette concordance.

L'aurore boréale blanche dure assez longtemps; elle est toujours remplacée par des cirri qui conservent d'abord sa forme, puis bientôt toute trace aurorale disparaît. Cet arrangement nuageux est, comme l'aurore boréale, l'indice d'une profonde modification atmosphérique.

Les luttes entre les courants aériens que je viens de décrire sont très remarquables lorsque les cirri auroraux disparaissent pour faire place aux courants ordinaires.

Y a-t-il une concordance entre les phénomènes magnétiques des aurores et l'arran-

gement électro-dynamique des courants aériens? Le soleil et la terre formeraient-ils un électro-aimant? Je questionne et refoule des idées théoriques que je ne saurais assez appuyer, et je demande aux observateurs qui aiment nos travaux de s'attacher à l'étude des courants aériens, parce que je reste persuadé que la découverte des lois qui régissent ces courants sera un immense progrès pour la météorologie.

Nous étudions les cyclones, les bourrasques, les trombes, dans leurs dernières manifestations; nous avons acquis des données sérieuses sur ces phénomènes; il serait temps de les relier synthétiquement à ceux que présentent les courants supérieurs, afin de connaître l'action commune des uns et des autres dans ces grandes manifestations de la nature.

On ne saurait supposer que les cyclones, les bourrasques et les trombes restent confinés dans les couches atmosphériques les plus voisines du sol. La vitesse des courants supérieurs est visible; les aéronautes l'ont constatée, et le calme relatif qui succède, dans les hautes régions aériennes, aux déchaînements des vents, donne à penser que ces phénomènes ont pris naissance dans les régions des bandes polaires et des cirri.

L'étude des bandes polaires, dans les Antilles, a permis d'annoncer plusieurs cyclones.

Il nous semble que le moment est venu d'étudier partout l'arrangement des courants. Cette étude est pénible, fatigante pour les yeux : un appareil qui obvierait à cet inconvénient serait une précieuse découverte.

Annexe n° 5.

DES MOUVEMENTS DES BOURRASQUES

ET DE LA POSSIBILITÉ DES AVERTISSEMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

ENTRE L'AMÉRIQUE ET L'EUROPE,

PAR M. JÉRÔME J. COLLINS,

DIRECTEUR DU BUREAU MÉTÉOROLOGIQUE DU *NEW-YORK HERALD*.

L'étude de la météorologie acquiert journellement une haute importance au point de vue des progrès à réaliser dans le commerce, la navigation, l'agriculture, l'industrie et l'amélioration de la santé publique. Cette science, autrefois complètement abandonnée aux philosophes, est devenue une question d'un intérêt sérieux pour tous, depuis le général commandant une grande armée jusqu'au plus humble paysan qui sème et qui recueille la petite moisson dont dépendent sa vie et celle de sa famille.

Ma mission principale parmi vous, aujourd'hui, Messieurs, c'est de dérouler à vos yeux quelques-uns des résultats d'une entreprise du journalisme moderne, c'est-à-dire les travaux du bureau météorologique du *New-York Herald*. Car aux États-Unis, le journalisme a fait plus d'une excursion dans le domaine de la science, employant son influence et ses ressources à propager et à vulgariser les bienfaits que la science apporte à l'homme. L'homme généreux qui prit l'initiative de l'exploration du continent africain et qui actuellement prépare à ses frais des expéditions au pôle Nord n'a eu garde de négliger cette nouvelle occasion qui s'offrait à lui d'être utile encore dans un autre champ d'activité, et c'est lui seul qui défraye les dépenses du service météorologique spécial se rattachant à l'administration du *New-York Herald* et fondé dans le but d'avertir les navires des ports européens, sur le point de traverser l'Atlantique, de l'approche des tempêtes redoutables, ainsi que pour annoncer aux habitants de l'Europe le mouvement et la direction des perturbations atmosphériques qui pourraient exercer une influence néfaste sur leurs intérêts multiples.

Déjà, en 1875, les importants services rendus, aux États-Unis, au commerce et à l'agriculture par le corps d'observation militaire, si bien organisé, et constituant le service des signaux de l'armée des États-Unis, furent vivement appréciés par toutes les parties intéressées. Mais une grande et opulente ville comme New-York éprouva bientôt le besoin d'un observatoire météorologique local; c'est alors que M. James Gordon Bennett, le propriétaire du *New-York Herald*, organisa le bureau d'observations météorologiques de ce journal, et New-York eut ses prédictions de temps locales.

M. Bennett m'ayant spécialement confié la direction de ce bureau, je m'occupai immédiatement à utiliser toutes les données à ma portée, puisant surtout amplement aux sources des observations météorologiques déjà publiées, principalement à celles du service des signaux. Toutes ces observations furent soigneusement consignées sur nos cartes, jour par jour, et j'en tirai des déductions indépendantes, les déductions générales

du service des signaux ne me satisfaisant point lorsqu'il s'agissait de les appliquer à des localités déterminées.

Un jour, on reçoit à New-York la nouvelle qu'un puissant cyclone se dirigeait vers l'Ouest, le long de la zone équatoriale de l'Atlantique et au-dessus de la mer Caraïbe. Observant la marche énergique et rapide de cette formidable tempête, je me hasardai à prédire dans le *Herald* qu'elle toucherait les côtes du Texas avant d'accomplir sa courbe vers le Nord. En effet, la tempête ravagea Galveston après avoir détruit Indianola, au Texas; ensuite elle continua sa marche vers l'E. N. E., le long de la côte septentrionale du golfe du Mexique, et passa sur l'Atlantique depuis la partie septentrionale de l'État de la Floride. Des avis ultérieurs obtenus du département des nouvelles par bateau, du *Herald* et, par le câble transatlantique, de Londres, indiquaient que le cyclone ne s'était pas dissipé sur l'Océan, mais qu'il avait passé sur les Iles Britanniques, la Suède méridionale, à travers le golfe de Bothnie, sur la Russie septentrionale et qu'il avait abandonné le continent d'Europe, près d'Arkhangel, sur la mer Blanche.

Il eût été impossible pour moi, ou pour tout autre jouissant des facilités que M. Bennett m'accordait pour observer et étudier, de ne pas se préoccuper d'une course aussi phénoménale de la part d'une tempête ayant pris origine dans les mers des tropiques. Cela éveilla en moi le désir d'étudier, plus sérieusement encore, la marche des perturbations qui de nos côtes se dirigent vers l'Est.

Quelques mois plus tard (le cyclone en question passa au mois de septembre 1875), une mission délicate et importante m'appela aux Antilles, où je restai environ trois mois. Pendant mon séjour là-bas, j'appris bien des détails sur les cyclones en général, et en particulier sur le dernier. De fréquents quoique légers tremblements de terre avaient été ressentis dans l'île de Porto-Rico, ce qui m'encouragea dans mes recherches; car, personnellement, j'ai toujours soupçonné une relation entre les perturbations atmosphériques et les convulsions terrestres, associant les premières au dégagement considérable de chaleur qui accompagne les dernières.

De retour à New-York, au printemps de 1876, je repris mes prédictions du temps locales et je préparai le plan sur lequel le système des avertissements du *Herald*, par rapport aux tempêtes transatlantiques, est basé. Le premier de ces avertissements fut expédié par le câble le 14 février 1877. Notre prédiction s'accomplit exactement au jour indiqué, c'est-à-dire le 19. Depuis lors nous avons continué à expédier nos avertissements et, en moyenne, le résultat a été fort satisfaisant.

Tel est, Messieurs, le bref résumé de l'organisation du bureau météorologique du *New-York Herald*.

Lors de mes observations sur la marche des tempêtes sur le territoire des États-Unis, à l'est des montagnes Rocheuses, je fus pris du vif désir de découvrir où ces terribles bourrasques prennent origine et où elles se dissipent, ainsi que de m'assurer si les tempêtes du Pacifique peuvent franchir ce plateau élevé et étendu qui longe à l'Ouest la véritable ligne de démarcation des montagnes Rocheuses. Il me semblait voir dans ce vaste plateau une barrière puissante, une muraille de 1,000 lieues d'épaisseur, que les tempêtes doivent franchir pour atteindre les grandes plaines arrosées par le Red-River, l'Arkansas, le Platte, le Missouri et le Yellowstone bourbeux.

Les stations propres aux observations météorologiques étaient fort rares dans cette immense région dénudée et leur élévation au-dessus du niveau de la mer peu certaine. Mais la patience peut vaincre bien des obstacles et, quoiqu'elle ne suffise point à découvrir les grandes vérités irréfutables, elle fournit souvent le fil conducteur qui nous mène aux vérités cachées. En comparant les conditions météorologiques qui dominent dans la région du plateau des montagnes Rocheuses avec celles qui prévalent d'une façon si marquée dans les plaines, en établissant un parallèle entre l'arrivée et le caractère des tempêtes qui sévissent sur les pentes orientales des montagnes Rocheuses, je

suis arrivé à en tirer la conclusion, certaine à mes yeux : 1° que les tempêtes franchissent en effet le plateau des montagnes Rocheuses; 2° qu'elles sont modifiées dans leur constitution hygrométrique; 3° que, lorsqu'elles quittent le plateau, elles reprennent peu à peu l'énergie qu'elles avaient perdue avec l'humidité qu'elles durent abandonner aux pentes occidentales de la chaîne de montagnes qui longe la côte du Pacifique, depuis l'île de Vancouver jusqu'à la basse Californie.

D'autres déductions que j'ai encore tirées de ces faits et de leur enchaînement, se trouvent plus amplement détaillées dans une série d'articles que j'ai écrits dans la revue *la Nature,* publiée à Londres, et qui ont paru, je le crois, les 9, 16 et 23 du mois de mai dernier. Je ne m'étendrai pas sur ces conclusions, mais je tiens à affirmer encore ici, que, quant à moi, je ne conserve plus l'ombre d'un doute sur la marche des tempêtes qui, depuis le continent asiatique et depuis la zone tropicale du Pacifique septentrional, viennent frapper le continent américain; je suis même convaincu que mainte bourrasque, nous venant d'abord d'Asie, fait sentir ensuite ses effets sur l'Atlantique et sur l'Europe.

L'origine des tempêtes nous importe moins en Amérique actuellement que de savoir où elles se dirigent en quittant nos côtes. Je sais positivement, d'après des rapports dignes de confiance, que les tempêtes, en quittant le continent d'Amérique, ont gardé leur constitution hygrométrique intacte, qu'elles sont successivement ressenties par les navires disséminés sur l'Océan, et surtout dans la direction de l'Ouest et à l'Est, qu'elles touchent la côte d'Europe et passent sur le continent vers l'Est; enfin, qu'elles se font sentir dans l'Asie centrale, poursuivant toujours leur course vers l'Orient. Quand elles passent sur les continents, leur marche est facile à suivre et à indiquer sur nos cartes météorologiques; mais, lorsqu'elles franchissent les océans, la tâche devient plus ardue en ce que les observations ne peuvent se faire qu'irrégulièrement. Cependant, celles que l'on a pu recueillir tendent invariablement à prouver la justesse de notre théorie, savoir : que les tempêtes franchissent les mers. Si nous posons cette question : sous quelles conditions une bourrasque, qui a passé sur un continent avec une grande violence, se dissiperait-elle sur l'Atlantique? Pour ma part, je n'en connais point; au contraire, la surface de cette vaste plaine liquide peut, dans certaines régions, présenter des variations de température qui, bien loin de diminuer l'énergie de la tempête, accroîtraient sa force; tandis que d'autres régions peuvent réunir des conditions favorables à la réduction temporaire des pentes (ou *gradients*) barométriques en provoquant, pour ainsi dire, une expansion de l'aire de la basse pression au-dessus d'une surface d'une température presque uniforme. La région où les bourrasques accroissent en violence est certainement celle où le courant d'eau équatorial (*gulf-stream*), par sa marche N. O., vient en contact avec les courants d'eau polaires. Ici deux éléments de perturbation, l'évaporation et la condensation, se côtoient, et dans un antagonisme bien plus prononcé que cela n'a lieu sur le continent. Ces deux éléments se neutralisent-ils, ou bien se combinent-ils pour accroître la violence de la perturbation passagère? Je ne crois pas qu'ils se neutralisent. Si les conditions de la dépression sont de nature à être modifiées par les influences indiquées plus haut, de manière à produire une forte tempête, il ne saurait y avoir de doute quant à la localité où ces influences agiront.

Le *gulf-stream* conserve son aspect caractéristique bien plus au loin dans l'Atlantique qu'on ne le suppose généralement; c'est-à-dire que, même sans l'aide du thermomètre marin, il est très facile de le distinguer de l'eau du courant arctique, même assez loin vers l'Est. La teinte bleu indigo de ses eaux à lueurs phosphorescentes, ainsi que la présence des algues tropicales, sont très remarquables même au-dessus de 50° de latitude et à 30° de longitude à l'Ouest.

Pendant mon voyage pour l'Europe, sur le *Labrador,* je consignai minutieusement

ces évidentes indications du *gulf-stream* dans des régions situées bien plus au Nord ou à l'Est que celles qu'on lui assigne comme limites sur les cartes marines. Mais à mesure que le *gulf-stream* s'avance et s'étend, il perd en profondeur, exposant ainsi une plus grande superficie de ses eaux à un abaissement de leur température. C'est dans la région située immédiatement à l'est de Terre-Neuve que ces remarquables contrastes de température ont lieu. Cette région est crainte par tous les navigateurs. Mes observations me conduisent à la conclusion que les tempêtes venant du N. O., où elles ont perdu leur humidité, augmentent de force quand elles entrent dans l'aire du *gulf-stream*, près de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse, tandis que les bourrasques venant du S. E. perdent, au contraire, de leur violence dans ladite aire. Les premières, c'est-à-dire celles venant du N. O., y acquièrent la vivifiante humidité atmosphérique dégagée là par l'évaporation du courant équatorial cité plus haut, tandis que les dernières, c'est-à-dire celles venant du S. E., l'y perdent par la rapide condensation du courant arctique, etc.

J'admets que les tempêtes subissent des altérations partielles dans cette région de l'Atlantique, mais je maintiens qu'aucune tempête ne change complètement de constitution en franchissant l'Océan et qu'elles atteignent les côtes d'Europe sous une forme peu altérée.

Il va sans dire que la question de la température des surfaces doit être prise en considération dans une discussion sur la marche des bourrasques transatlantiques.

A peu d'exceptions près, le point de départ des tempêtes d'Amérique traversant l'Atlantique se trouve entre la Floride et Terre-Neuve, plus fréquemment même dans cette dernière région; d'où le caractère orageux du passage moyen.

La distribution des pressions sur l'Atlantique est en général familière aux météorologistes; mais une étude approfondie de notre sujet doit nous faire admettre aussi une série de zones. Ces zones sont sujettes à des variations de position actuelle, mais elles gardent généralement entre elles certains rapports très constants. J'ai observé que les axes et les marches de ces zones sont dans un constant état d'ondulation et, ainsi que je le disais au regretté M. Le Verrier, dans un mémoire que j'eus l'honneur de lui adresser, et encore dans la revue *la Nature,* les concavités des ondulations marginales de la haute pression renferment les centres de perturbation, tandis que les convexités contiennent les aires d'une pression relativement haute. Quelquefois, et j'attribue ceci aux variations produites par le déplacement des dépressions et des aires qui les accompagnent sur le plateau des montagnes Rocheuses, ces ondulations prennent des proportions anormales et ajoutent ainsi de nouvelles difficultés à vaincre dans les observations, et que l'on ne peut surmonter que par une attentive et scrupuleuse étude des cartes météorologiques journalières. Je ne saurais encore vous parler avec certitude de la périodicité de ces ondulations; mais je me les propose comme sujet d'observation afin de résoudre bientôt la question, si possible! Veuillez être indulgents, Messieurs, et vous souvenir qu'il n'y a pas longtemps que le bureau météorologique du *New-York Herald* s'occupe de ces diverses questions, et que cependant quelques résultats importants ont été acquis à l'étude de la météorologie. Il faut nous contenter pour le moment de savoir que les tempêtes se meuvent invariablement dans les zones de la basse pression, et entre deux zones de haute pression généralement parallèles. Par l'observation assidue de la direction générale de la zone de basse pression, laquelle se modifie lentement, en remarquant la direction d'où vient la bourrasque qui aborde l'Océan depuis l'Amérique, et en tenant rigoureusement compte de sa force et d'autres conditions, nous avons souvent pu prédire non seulement sa marche sur l'Europe, mais encore quelles parties de la côte continentale elle viendrait frapper. La limite et la marche de ces zones sont indiquées par le baromètre et par la direction des vents.

Vous savez naturellement, Messieurs, qu'il y a des vents qui circulent sans cesse

autour des centres de dépression, en directions opposées à ceux circulant autour des centres de haute pression. Toutefois, si vous examinez attentivement les vents marginaux des zones de basse pression, vous remarquerez que le bord septentrional a un vent continu soufflant de droite à gauche, et le bord méridional un vent semblable mais soufflant de gauche à droite. Je ne me sers pas des aiguilles du compas pour indiquer les directions de ces courants d'air, car l'axe de la zone varie quelquefois du S. O. au N. E.; souvent même elle forme un angle très aigu avec le méridien.

Les études sur le magnétisme terrestre, sur l'électricité atmosphérique, etc., qui se poursuivent si activement dans les observatoires d'Europe et d'Amérique, seront certainement d'une grande utilité pour aider à déterminer la marche et les variations des tempêtes. Elles contribueront sans doute à établir une proche parenté entre quelques-uns des phénomènes auxquels j'ai fait allusion dans ce mémoire, et à rendre possible, dans l'avenir, la prédiction des variations atmosphériques bien plus longtemps à l'avance que nous ne saurions le faire actuellement.

Un autre trait caractéristique de la marche des tempêtes de l'Atlantique, c'est l'extension de l'aire de la basse pression en plein Océan et sa contraction en approchant de la côte d'Europe. J'ai déjà mentionné les variations produites par les influences opposées des températures, de l'évaporation et de la condensation, dans la région où le *gulf-stream* et les courants arctiques viennent en contact direct, à l'est de Terre-Neuve. La direction d'où ces aires de tempêtes se rendent à cette région influe aussi beaucoup sur les variations qu'elles subissent. Ces variations ne pourront être déterminées exactement que lorsqu'on aura trouvé les courbes appropriées à toutes les conditions qu'une tempête subit dans ladite région; c'est une extension d'une aire étroite accompagnée d'une augmentation plus ou moins considérable de pression vers le centre. C'est peut-être cette modification que quelques observateurs ont prise par erreur pour une dissipation de la tempête; mais il n'en est point ainsi. L'aire de la basse pression est alors certainement fort agrandie, mais elle ne perd jamais complètement son caractère de tempête; et aussitôt que les influences de terre commencent à opérer sur son bord oriental, l'air recommence à se contracter et, par conséquent, à acquérir une nouvelle violence. Ainsi, il est possible de se trouver dans l'aire de la basse pression au 50° degré de latitude Nord, et au 30° degré de longitude Ouest, sans rencontrer des vents de tempête; mais lorsqu'on se dirige vers l'Est avec la même dépression, l'abaissement du baromètre et, par conséquent, le déchaînement plus ou moins subit de forts vents deviennent très marqués. Dans mon récent voyage sur l'Atlantique, sur le *Labrador,* j'observai ces phénomènes et, grâce à la courtoisie de son estimable capitaine, M. Sanglier, j'eus toutes les facilités pour apprécier les diverses variations de pression et de température sur notre route.

On pourra m'objecter qu'une seule expérience est insuffisante pour l'investigation sérieuse que la question demande; mais j'ai pris la précaution d'apporter avec moi des notes renfermant les opinions, à ce sujet, d'un grand nombre de capitaines de bateaux à vapeur bien connus, afin d'ajouter le poids de leurs témoignages à l'exposé que j'ai l'honneur de vous faire.

Quelquefois la réorganisation des tempêtes qui avaient quitté la côte d'Amérique comme telles, mais qui avaient été partiellement décomposées, ou pour parler correctement, modifiées en grandes aires de basse pression, en plein Atlantique, n'a lieu que lorsque les perturbations ont atteint la mer du Nord, la côte norvégienne ou même l'ouest de la Baltique.

Il arrive ainsi parfois que les prédictions météorologiques du *New-York Herald* sont regardées comme erronées, parce que la bourrasque annoncée ne fut pas ressentie immédiatement sur les côtes des Iles Britanniques ou de la France. Mais si vous consultez les registres, vous verrez que plusieurs de ces perturbations déployèrent toute

leur impétuosité à l'est des côtes et des régions précitées, et que les dépressions où ces développements eurent lieu, suivirent bien la marche indiquée.

Lorsque les ondulations extraordinaires se forment dans les zones de pressions auxquelles j'ai déjà fait allusion, il arrive fréquemment que les tempêtes, enfermées dans les concavités profondes des bords des zones, suivent la direction de celles-ci et s'avancent (dans une direction N. E.) bien loin au Nord, dans la Laponie et l'océan Arctique. Mais il ne faut pas oublier que ces tempêtes redescendent de nouveau sur le golfe de Bothnie et continuent leur marche du N. E. au centre de la Russie, en suivant toujours le bord de la zone de haute pression. Ce mouvement vers le Nord, pour redescendre vers le Sud, a inspiré à quelques météorologistes en Angleterre l'idée que les tempêtes qui frappent la côte anglaise y viennent en droite ligne de l'Islande et même des régions arctiques. Je ne me hasarderai pas à dire que les tempêtes venant du continent de l'Amérique ne montent pas jusqu'à l'Islande, mais je sais positivement qu'elles en redescendent vers des latitudes moins élevées, et que dans leur marche elles ne font que toucher aux Iles Britanniques.

Les bourrasques qui franchissent la barrière des monts Ourals, à l'est de la Russie, perdent leur humidité sur les grandes pentes occidentales de cette chaîne puissante et entrent dans une région élevée et comparativement stérile. Comme les tempêtes passent rarement au sud du groupe de montagnes compris dans les régions du Thibet et de l'Inde occidentale, elles reçoivent une impulsion, fortement influencée par les conditions topographiques, vers la Sibérie orientale et même vers le détroit de Behring. Ce sont là les tempêtes qui se succèdent si régulièrement sur le territoire d'Alaska et l'extrême partie N. E. du continent américain, et qui, passant ensuite sur les régions glacées du pôle magnétique, sur la terre de Grinnell et le nord du Groënland, entrent dans le bassin arctique. Nous nous trouvons donc en présence d'un système de zones concentriques, dont le centre pourrait bien être le pôle géographique, où nous trouvons la marche des tempêtes clairement tracée. Je ne pense pas que ces zones coïncident avec les zones magnétiques, c'est-à-dire que des parallèles magnétiques ne les définissent qu'approximativement. Il se pourrait qu'elles eussent un rapport de spirale à l'axe de rotation de la terre; mais nous n'avons pu encore les étudier assez longtemps pour affirmer notre présomption comme un fait avéré. Cependant nous savons que les bourrasques de l'Ouest et du S. O. passent incessamment sur les mers polaires. Ces perturbations, toutefois, n'ont point pris origine dans un développement local. Nous savons encore qu'il y a une autre zone de tempêtes dans l'océan Atlantique septentrional, laquelle zone est journellement traversée par des vapeurs et des voiliers. On peut aussi démontrer qu'au sud du 40° degré de latitude jusqu'au 25° degré de latitude, il existe une zone de haute pression dont la direction normale paraît être de quelques degrés de plus au Nord qu'à l'Est, et plus au Sud qu'à l'Ouest.

De là vers le Sud, la zone de basse pression s'étend de nouveau jusqu'à la région équatoriale où les grands cyclones prennent origine. A mon avis, le mouvement général et continu de l'air vers l'Est est dû à la perturbation de l'équilibre atmosphérique sous l'influence des rayons solaires qui doivent nécessairement donner leur maximum de chaleur à l'est de toute aire sur laquelle une pression atmosphérique peut s'accumuler et y développer une source d'où l'air puisse s'échapper. Ainsi le côté éclairé de la terre reçoit continuellement de l'air du côté qui est resté le plus longtemps dans les ténèbres, lequel côté se trouve immédiatement à l'ouest de l'aire sur laquelle les rayons solaires agissent en dilatant son volume atmosphérique. Voyons maintenant si cette théorie infirme celle des zones de pression ci-dessus mentionnées : elle me semble plutôt l'affirmer. L'équateur formant un angle avec l'écliptique, les hémisphères septentrional et méridional sont alternativement présentés aux rayons solaires par le mouvement annuel de la terre dans son orbite. Le côté obscur de l'hémisphère septentrional occupera

donc en hiver une aire plus étendue et en été une aire plus restreinte, à la suite de ce que j'appellerai l'atmosphère accumulée qui tend continuellement vers l'Est. Il faut donc qu'il y ait un mouvement journalier dans la direction du courant, dû aux rapports changeants entre la surface de la terre et le soleil. Il y a encore un autre mouvement imprimé au volume atmosphérique par la rotation de la terre sur son axe, par conséquent le vrai mouvement de l'air serait indiqué par l'énergie relative des deux mouvements. Cependant les mouvements doivent varier avec l'élévation; le frottement contre la surface de la terre doit retarder la dernière couche atmosphérique, d'où une action indépendante de la température de la surface en vue de rétablir l'équilibre et qui produit les alternations de pression ondulées ou zones qui sont situées entre l'équateur, ligne de la plus grande force centrifuge, et les pôles, où cette force n'existe pas du tout. Je crains bien que cette esquisse imparfaite ne satisfasse point mes bienveillants auditeurs et que plus d'un d'entre eux ne mette en doute la réalité et l'exactitude des bases sur lesquelles je fonde ces théories. Mais je suis déjà tout honteux d'avoir abusé si longtemps de votre attention sympathique et il me serait impossible d'entrer dans des détails plus raisonnés et abstraits dans l'espace de temps limité que vous pourriez encore m'accorder.

Permettez-moi, Messieurs, de revenir à un sujet qui a été vivement discuté par d'éminents météorologistes, et sur lequel je désire vivement vous communiquer quelques informations. Il s'agit de la question : «Les tempêtes franchissent-elles l'océan Atlantique, oui ou non?»

Quant à moi, vous savez que j'ose la résoudre affirmativement; mais afin de satisfaire aux objections raisonnables que l'on peut nous faire, je vous citerai les opinions d'un grand nombre d'observateurs intéressés, d'hommes qualifiés, par leur profession et la grande responsabilité qu'elle entraîne, à être des juges compétents sur la matière. Vous comprenez que je veux parler des capitaines des bateaux à vapeur, qui dirigent le trafic considérable entre l'Europe et l'Amérique.

Je commencerai par les capitaines et officiers de marine de la ligne française de la Compagnie générale transatlantique, auquel corps je présente mes compliments respectueux et sincères, sur les capacités et les connaissances nautiques et scientifiques dont ils font preuve journellement.

Voici un résumé de leurs opinions extrait des notes que le reporter du *Herald* a prises dans ses entretiens avec ces messieurs, dont j'ai le compte rendu complet avec moi.

Le capitaine Frangeul, du vapeur *le Canada,* dit, en réponse à la question suivante : «Selon votre opinion et votre expérience, les tempêtes américaines franchissent-elles l'Atlantique pour se diriger sur l'Europe, et croyez-vous qu'elles subissent une réduction ou un accroissement de force?» — «Je ne saurais me prononcer là-dessus d'une manière concluante, n'ayant pas navigué assez longtemps sur la ligne. Il n'y a pas de doute que les tempêtes venant de la côte d'Amérique ne changent de constitution en franchissant l'Océan. Il m'a souvent semblé que leur violence augmentait.»

L'officier supérieur à bord du vapeur *le Pereire,* qui n'a pas donné son nom au reporter du *New-York Herald,* réplique ainsi à la question ci-dessus : «Il est avéré que les tempêtes franchissent l'Atlantique. On les rencontre entre les latitudes 30° et 60° et elles sont plus violentes aux environs des bancs de Terre-Neuve que sur les côtes britanniques ou américaines.»

Le capitaine Sanglier, du vapeur *Labrador,* dit: «Je suis convaincu que les tempêtes franchissent l'Atlantique», et il ajoute : «Je m'en suis assuré par des investigations, des comparaisons et par ma longue expérience.» Outre les remarques par lui adressées au reporter du *Herald,* le capitaine Sanglier m'informa personnellement, pendant le voyage, qu'il partageait complètement mes théories sur la marche des tempêtes sur l'Atlantique,

et qu'il considérait les prédictions météorologiques sur leur arrivée en Europe, basées sur de telles données, comme parfaitement logiques.

Nous n'eûmes malheureusement pas occasion de nous enquérir des opinions des capitaines de la *Ville-de-Paris*, du *Saint-Laurent* et de l'*Amérique*, mais je suis moralement sûr qu'elles auraient coïncidé avec celles des officiers leurs confrères.

Voyons maintenant la ligne anglaise. Le capitaine Mc Miken, du vapeur Cunard *Bothnia*, réplique à ladite question : «qu'il croit que les tempêtes traversent l'Atlantique et viennent frapper soit le continent, soit les Iles Britanniques, et surtout fréquemment en hiver.» Il n'est pas encore fixé sur leur parcours en automne ou au printemps.

L'officier supérieur Cottier, du vapeur Cunard *Algeria*, dit : «Certaines tempêtes traversent l'Océan avec une impétuosité très variable. Les plus violentes se font sentir entre les latitudes 39° et 50°.» (Ceci est justement la région à l'est de Terre-Neuve, sur laquelle j'ai appelé plusieurs fois votre attention, c'est-à-dire la région où les plus grands contrastes de température ont lieu.)

Le capitaine W.-H.-P. Hains, du vapeur Cunard *Scythia*, dit : «De nombreuses et violentes tempêtes parcourent l'Atlantique; cette opinion est le résultat de plusieurs conférences à ce sujet avec divers officiers.»

L'officier supérieur du vapeur Cunard *Russia*, qui ne communiqua point son nom, dit : «Les tempêtes traversent certainement l'Atlantique, avec une réduction ou un accroissement de violence, selon que les centres parcourent diverses aires atmosphériques de chaleur et d'humidité. Il n'y a pas de doute possible sur ce fait, que les tempêtes d'automne, d'hiver et de printemps franchissent l'Atlantique, mais fréquemment leur parcours et leur dispersion sont introuvables (*sic*).»

D'autres officiers de cette ligne furent aussi questionnés, mais leurs réponses ne jetèrent aucune lumière sur notre sujet.

Le capitaine Irving, du White Star steamer *Republic*, dit : «Quelques tempêtes marchent avec un accroissement et d'autres avec une réduction ou une totale extinction de leur violence.» Il croit que «la vingtième partie des tempêtes américaines franchissent l'Océan et que les autres se dissipent sur les expansions du *gulf-stream* ou bien se dirigent en une courbe vers les parallèles Nord ou Sud.»

L'officier supérieur A. Mc Gachin et le second officier Jurpin, du White Star steamer *Baltic*, disent «que, quoiqu'ils n'aient jamais donné grande attention aux analyses spéciales des livres de loch, ils ne doutent pas qu'aucune tempête prenne jamais origine sur mer; ils croient qu'elles franchissent l'Océan en venant d'Amérique; bien des tempêtes passent dans les régions des îles d'Orkney, Shetland et Féroë. Les tempêtes sévissent avec le plus de violence entre les latitudes 40° et 50° et les longitudes 30° et 50°.

Le capitaine Jennings, du White Star steamer *Adriatic*, dit : «Les tempêtes parcourent l'Atlantique avec une force réduite. En arrivant à la côte d'Amérique, elles ont déjà subi une expansion partielle (*sic*) et dans le *gulf-stream*, elles se dilatent tellement qu'elles arrivent sur les côtes britanniques considérablement diminuées en violence.»

De la ligne allemande, M. Brann, second officier du vapeur *le Holstein*, dit : «Certainement les tempêtes traversent l'Océan; quoique bien des tempêtes diminuent en énergie, les éléments de vitalité restent, produisant une énergie secondaire sur les régions de l'Est ou d'Europe.»

Le capitaine de Simon, du vapeur *le Hermann*, dit : «Les tempêtes parcourent l'Atlantique et se trouvent généralement sur nos lignes de navigation, entre les latitudes 40° et 50° et les longitudes 30° et 44°; c'est là qu'elles ont le plus de violence.»

La liste pourrait se prolonger ainsi en plusieurs pages, mais ce serait inutile. Les opinions ci-dessus citées représentent en moyenne les conclusions de navigateurs expérimentés.

Comme conclusion, j'ajouterai que mon but, en vous communiquant les opinions des navigateurs compétents ci-dessus mentionnés, est de les comparer avec l'exposé (plus ou moins correct) récemment publié dans le *Nautical magazine*, à Londres, par un personnage d'une certaine autorité, savoir : le très éminent directeur du Bureau britannique des observations météorologiques, qui hasarde la remarque suivante : «Il est impossible de suivre les traces de la marche d'une tempête à l'ouest des côtes des Iles Britanniques, d'après les informations actuellement en possession du bureau météorologique de Londres, jusqu'à plusieurs mois de date après le passage de la tempête. Un mémoire prochain sur l'état atmosphérique pour le mois d'août 1873 démontrera combien il est difficile de prédire la marche des tempêtes qui quittent le continent d'Amérique.» Et c'est sur ces données extraordinaires que l'auteur se base pour démolir, il le croit du moins, l'œuvre du bureau des observations météorologiques du *New-York Herald*.

Annexe n° 6.

ÉTUDE SUR LES GRANDS MOUVEMENTS DE L'ATMOSPHÈRE

ET SUR LE MODE DE FORMATION

DES TOURBILLONS ATMOSPHÉRIQUES,

PAR M. HÉBERT.

Ce n'est pas sans hésitation que je viens aborder la grande et difficile question des mouvements de l'atmosphère, après qu'elle a déjà été traitée dans nos séances par tant de voix bien plus autorisées que la mienne. J'ai cependant à vous présenter un grand nombre de faits que j'ai observés et que je me suis efforcé de discuter avec tout le soin possible; ce qui me rassure d'ailleurs, c'est que les conclusions auxquelles j'ai été conduit, tout en présentant des différences, ne sont pas en opposition avec celles qui vous ont été soumises, principalement par le savant directeur de l'Institut météorologique danois, M. le capitaine Hoffmeyer.

J'ai publié, il y a un an, dans l'*Atlas météorologique de France*, une étude sur le remarquable hiver de 1876-1877. Pendant cette période, tandis que dans le N. E. de l'Europe, où régnaient des pressions exceptionnellement élevées, la température descendait à des chiffres jusqu'alors inconnus et s'y maintenait avec une persistance remarquable, le S. O. de l'Europe jouissait au contraire d'une température fort élevée pour la saison et l'on observait à de nombreuses reprises dans l'ouest de la France ces vents chauds et secs que l'on désigne dans nos pays sous le nom de sirocco, en Suisse et en Allemagne sous celui de *Föhn*.

A l'aide d'observations recueillies dans un grand nombre de stations françaises, à l'aide de celles qu'ont bien voulu me fournir les directeurs des divers instituts d'Europe, j'ai pu démontrer que pendant que le sirocco, avec la sécheresse intense qui l'accompagne, régnait violemment dans nos départements du S. O., des pluies d'une violence inouïe se produisaient sur le nord et l'ouest de la péninsule hispanique, en Espagne et en Portugal, avec le caractère particulier que ces pluies commençaient toujours en même temps que le sirocco et finissaient en même temps que lui. J'ai pu ainsi étendre et vérifier, dans des régions pour lesquelles cela n'avait point été fait encore, la théorie émise par M. Hann, de Vienne, en s'appuyant sur les équations de thermodynamique de MM. Reid, Hirn et Peslin: *Quand un courant d'air chaud et humide rencontre une chaîne montagneuse, obligé de s'élever sur les pentes, il se dilate en montant et se refroidit par suite; s'il était sec, son refroidissement serait d'environ 1 degré par 100 mètres d'élévation, soit 26 degrés pour 2,600 mètres; mais s'il est humide, il dépose à l'état de pluie ou de neige la plus grande partie de sa vapeur aqueuse, et, par suite, son refroidissement n'atteint plus que la moitié environ de la valeur ci-dessus, soit 13 degrés. Si du côté opposé de la montagne il redescend, il se comprimera en descendant et s'échauffera; ne contenant plus qu'une quantité extrêmement faible de vapeur, il pourra être considéré comme sec et son réchauffement sera également de 1 degré pour 100 mètres de*

descente; de sorte qu'au pied de la montagne il se montrera remarquablement chaud et sec. Cette théorie est aujourd'hui admise par tous les météorologistes qui se sont occupés d'études sur ce sujet : MM. Wild, de Saint-Pétersbourg; Hoffmeyer, de Copenhague; Billwiller, de Zurich; mais elle avait le défaut de ne pas indiquer la cause qui détermine la descente de l'air sur le second versant de la montagne; j'ai pu la compléter en démontrant à l'aide des cartes synoptiques, du tracé des lignes isobares et de l'application de la loi de M. Buys-Ballot, que, toutes les fois qu'il y a sirocco, il y a en même temps production d'un tourbillon local d'étendue restreinte qui ramène l'air en bas par un mouvement hélicoïdal conique et qui, après avoir persisté pendant plus ou moins longtemps au point où il s'est produit, s'en éloigne en se transformant en une dépression voyageuse dont la trajectoire est soumise aux lois ordinaires. C'est ainsi que les tourbillons formés sur le golfe de Gascogne s'élèvent à travers la France du S. O. au N. E., abordant par les côtes basses des Landes et se dirigeant vers Charleville, puis la Hollande, pour redescendre le plus habituellement à travers l'Allemagne.

J'ai eu la satisfaction de voir cette nouvelle théorie bien reçue et acceptée par les météorologistes les plus compétents dans ces questions. M. Osnaghi, de Vienne, m'écrivait que la combinaison de nos tourbillons avec la théorie de son ami et collaborateur M. Hann donnait l'explication la plus complète et la plus satisfaisante des phénomènes de *Föhn*. M. le commandant Bongarçon, chef du service météorologique algérien, écrivait de son côté qu'après avoir, depuis plusieurs années, observé très fréquemment le sirocco en Algérie, il était parfaitement d'accord avec moi; que, après chaque coup de sirocco, on voyait apparaître dans le S. O. de l'Algérie de petits tourbillons se dirigeant selon la loi ordinaire vers le N. E., et qui avaient pris naissance, comme je l'avais indiqué, au passage de l'Atlas; que, quant aux tourbillons originaires du Sahara, ils étaient tout au moins excessivement rares, et que les pluies de sable à l'aide desquelles on prétendait les reconnaître n'ont aucune signification parce qu'elles se produisent très bien avec ces tourbillons locaux. Il ajoutait enfin que, si les stations météorologiques de la côte du Maroc ne permettaient pas par leur position de vérifier si des pluies considérables étaient tombées dans ce pays pendant la période de sirocco dont il s'agit et qui avait été aussi intense en Algérie que dans le S. O. de la France, il y avait lieu toutefois de le supposer, puisque, tandis que les récoltes avaient manqué en Algérie par suite de la sécheresse persistante, elles avaient été au contraire exceptionnellement abondantes au Maroc. De son côté, M. Wild, dans une brochure intitulée : *Der Föhn und der Eitzeit*, en réponse à M. Dove, avait déjà reconnu et signalé, mais d'une façon moins nette, le caractère tourbillonnant du sirocco. Enfin je trouve l'indice du même fait dans le très intéressant mémoire de M. Hoffmeyer sur le *Föhn* au Groënland. M. Hoffmeyer constate en effet que ce phénomène, qui amène parfois en plein hiver sur les côtes Ouest du Groënland, en vingt-quatre heures, une élévation de température de 25 degrés au-dessus de la moyenne et cela pendant des semaines entières [1], commence par un mouvement tourbillonnaire de la neige au sommet des montagnes, puis le vent descend et s'abaisse peu à peu jusqu'à la plaine; il faut retenir encore que dans le fiord de Gothaab, où deux stations météorologiques sont établies, le *Föhn* se fait sentir à celle de Kornok, située au fond du fiord, au pied même des montagnes, plus fortement et d'une façon plus constante qu'à celle de Kangek, placée à l'entrée du même fiord, à 16 kilomètres de la première.

[1] Pendant l'hiver de 1875, le sirocco se produisit avec force dans toutes les stations de la côte Ouest du Groënland, du 19 novembre au 12 décembre, à peu près sans interruption. Il fut en même temps observé par l'expédition polaire du capitaine Nares, du 26 novembre au 13 décembre, dans deux stations situées bien plus au Nord : à Discovery Bay, par 81° 44′ de latitude Nord, et à Fleeberg Beach, par 82° 27′ de latitude Nord.

Après avoir constaté et étudié la production de ces tourbillons locaux au pied du versant Nord des Pyrénées, j'avais pu reconnaître qu'ils se produisent également au passage de toutes les grandes chaînes de montagnes : la chaîne de l'Atlas en occasionne très fréquemment sur le détroit de Gibraltar et en Algérie; on en trouve en Espagne au pied des Sierras et des monts Ibériques, en Italie et en Suisse sur les deux versants des Alpes; enfin j'ai pu les reconnaître jusqu'au pied du Caucase.

Le mémoire que je viens d'analyser n'était qu'une fraction d'un grand travail que j'avais entrepris sur la marche des tourbillons à travers le continent européen, le nord de l'Afrique et la partie centrale de l'Asie, et pour lequel j'avais construit jour par jour et deux fois par jour les cartes synoptiques des éléments météorologiques observés dans près de trois cents stations de l'ancien continent et tracé les courbes isobares. A l'aide de ces cartes, très minutieusement faites et étudiées avec le plus grand soin, j'avais pu constater l'arrivée de toutes les dépressions qui ont abordé les côtes d'Europe pendant la période que j'ai étudiée, soit du 1er octobre 1876 au 31 mars 1877, et les suivre dans leur mouvement sur le continent.

Après avoir terminé cette étude, et comme je disposais des magnifiques cartes synoptiques tracées trois fois par jour par le *Signal Office* de Washington, je voulus entreprendre d'étudier de la même façon la marche des tourbillons à travers le continent américain en vue de comparer les résultats de cette étude à ceux que j'avais obtenus en Europe. Cette étude me conduisit presque immédiatement à la constatation d'un fait des plus remarquables. Le sirocco, que je n'avais trouvé en Europe que comme un fait exceptionnel, se produit sur le versant Ouest des montagnes Rocheuses avec une intensité tout exceptionnelle et une continuité presque complète. L'existence de cet état perpétuel de sécheresse, l'absence complète de pluies donnent à ces régions des prairies un caractère tout particulier. Tandis que la bande étroite du littoral californien comprise entre la côte du Pacifique et les chaînes de la Sierra-Nevada, du Cascade-Range et du Coast-Range, fortement arrosée, offre un développement de végétation véritablement merveilleux, que l'on trouve là les plus immenses géants du monde végétal, les *sequoia gigantea* de 130 mètres de haut, dont chacun pourrait abriter la pyramide de Chéops, l'immense plateau limité à l'Ouest par ces chaînes littorales, à l'Est par la grande arête des montagnes Rocheuses, et la région qui s'étend à l'Est de celles-ci jusqu'à la vallée du Mississipi, sont dépourvus de toute végétation arborescente et n'offrent que des graminées sèches, arides et brûlées pendant la plus grande partie de l'année et qui ne présentent de végétation que pendant une courte période du printemps. Toute cette région constitue un véritable désert plus d'une fois fatal à ceux qui ont voulu le franchir et dans lequel on ne rencontre qu'une seule oasis, celle de l'Utah, occupée par les Mormons, autour du grand Lac-Salé.

Chacun de ces coups de sirocco est caractérisé par l'apparition, au lieu où il se produit, d'un puissant tourbillon facile à reconnaître et à la dépression importante qu'il détermine, à la force des vents et à leur rotation conforme à la loi de M. Buys-Ballot. Ces tourbillons se produisent toujours aux mêmes points de la chaîne, ce qui indique évidemment l'existence d'une cause locale; or, cette cause locale paraît nettement indiquée, c'est l'existence des cols qui coupent l'immense massif des montagnes Rocheuses. Les points principaux d'apparition du tourbillon sont, en effet : 1° le col qui se trouve vers le nord de la chaîne, dans l'État de Montana, entre les sources de la Fraser River, affluent de l'Orégon, et celles du Missouri; c'est là où est construite la ville de Virginia-City; 2° les cols compris dans les États de Wyoming et de Colorado, entre les sources du Colorado du Sud et celles de la Nebraska ou Rivière-Platte; au premier de ces cols, qui est franchi par le chemin de fer transcontinental, se trouve la station de Cheyenne, à l'autre celle de Denver. Il apparaît encore des tourbillons vers les sources de l'Arkansas, ainsi que dans le territoire indien, le Nouveau-Mexique et le Texas; mais ici

l'absence de stations près des montagnes ne nous permet plus de spécifier aussi exactement le point d'origine.

Ces tourbillons une fois produits persistent quelque temps, un ou plusieurs jours, au lieu où ils se sont produits, tant que dure le coup de sirocco auquel ils correspondent. Il est fort important de remarquer que la sécheresse atteint toujours son maximum au commencement de chaque coup de sirocco, puis l'humidité va en augmentant, et, à moins qu'un nouveau coup de sirocco ne recommence immédiatement, ce qui arrive fréquemment, l'air finit par atteindre l'état de saturation. Au moment où le coup de sirocco cesse, le tourbillon correspondant se met en marche et devient une dépression voyageuse qui s'élève selon la loi ordinaire vers le N. E. en suivant de préférence les grandes dépressions du sol, telles que les vallées des grands fleuves. Quand le coup de sirocco a été de faible durée, ce tourbillon porte souvent encore jusqu'à une certaine distance de son point de départ la chaleur et la sécheresse, et ce n'est que plus loin que la dépression complètement constituée amène, selon les cas, la pluie, la neige et les orages.

Le trajet de ces dépressions à travers le continent américain obéit à des lois fixes; les tourbillons du Montana s'avancent au N. E., vers le nord du Dakota, puis atteignent le Manitoba, puis de là s'élèvent à travers la Nouvelle-Bretagne, paraissant se diriger vers la baie d'Hudson. Bien qu'il n'existe aucune station dans l'intérieur de la Nouvelle-Bretagne, il est possible de suivre la marche de ces dépressions par l'étude des effets qu'elles produisent pendant leur marche au Nord, sur les stations du Canada et jusqu'à l'embouchure du Saint-Laurent, et en se servant de la loi de M. Buys-Ballot.

Les tourbillons de la vallée de la Nebraska suivent une trajectoire parallèle à la précédente, passant par Omaha et Saint-Louis pour aller atteindre le lac Supérieur et la Nouvelle-Bretagne. Ceux qui proviennent de la vallée de l'Arkansas, par Dodge-City et Leavenworth, passent plus à l'Est encore et vont atteindre le lac Michigan, près de la Nouvelle-Bretagne, au nord du lac Huron. Enfin, ceux qui ont pris naissance plus au Sud encore, dans le Nouveau-Mexique ou le territoire indien, s'élèvent à travers le nord du Texas, pour gagner la vallée du Mississipi, puis celle de l'Ohio, atteindre ensuite les lacs Érié et Ontario, puis le golfe du Saint-Laurent.

Ces trajectoires éprouvent, dans la série des mois, certaines variations qui peuvent les reporter plus ou moins vers l'Est, et par conséquent faire varier un peu le point où elles abordent les rivages de l'Atlantique.

D'autres tourbillons descendent de la vallée du Rio Grande del Norte sur le golfe du Mexique, longent les côtes Nord du golfe et abordent vers l'embouchure de l'Alabama, s'élèvent au N. E. en suivant le versant oriental des Alleghanys pour atteindre la côte vers la baie Chesapeake et de là s'élever le long de la côte jusqu'à la baie de Fundy, puis jusqu'au cap Breton.

Enfin, il se produit aussi des tourbillons de la même nature dans la partie Sud des Alleghanys et sur les deux versants : à l'Ouest, vers Nashville et Knoxville; à l'Est, vers Augusta et Charleston et vers Lynchburg. Ceux-ci vont atteindre la côte vers le cap Hatteras et le cap May et s'élèvent de là le long de la côte jusque vers les côtes du Maine, à l'entrée de la baie de Fundy; les premiers gagnent habituellement la vallée de l'Ohio, puis les lacs Érié et Ontario ou bien descendent vers la côte par la vallée de la Delaware.

D'autres dépressions encore sont fréquemment signalées au S. E. du continent américain par les observations des stations de la Floride, et principalement de Key West, dans le canal de Bahama; celles-ci se font toujours sentir à la Jamaïque avant d'être sensibles à la Floride. Il est assez difficile de déterminer leur origine; toutefois j'ai pu pour certaines d'entre elles constater à coup sûr qu'elles venaient de la mer Caraïbe et, pour un grand nombre d'autres, observer une relation très nette entre les variations du baro-

mètre à Medellin (Colombie), dans la vallée de la Cancer, affluent de la Magdalena, la seule station dont je connaisse les observations dans cette région. Je pense donc que ces dépressions ont une origine semblable à celles des dépressions dont nous avons parlé plus haut et qu'elles prennent naissance dans la partie Nord des Andes. Cette conclusion s'est trouvée fortifiée d'une façon tout à fait inattendue par une observation qui m'a été communiquée par un botaniste éminent, M. Fournier, à la suite de la lecture de mon mémoire. Il avait constaté, en effet, sans en pouvoir trouver l'explication, que certaines espèces végétales particulières à la vallée de la Magdalena se retrouvent à la Jamaïque, à Cuba et nulle part ailleurs, fait qu'explique le transport des graines par les tourbillons dont nous venons de parler.

Après avoir ainsi constaté la formation des dépressions au passage des grandes chaînes de montagnes, leur marche vers le N. E. à travers le continent américain et leur arrivée sur les rivages de l'Atlantique, je me suis proposé de chercher s'il serait possible de déterminer avec une approximation suffisante leur marche à travers l'Atlantique. Je disposais à cet effet des observations faites trois fois par jour à Funchal (Madère), à Ponta Delgada et à Angra do Heroismo (Açores), à Lisbonne et à Campo Maior (Portugal), que je devais à l'obligeance de M. de Brito Capello, directeur de l'observatoire de l'Infant don Luiz, et des observations de Saint-John (Terre-Neuve), de Gothaab (Groënland), de Stykkisholm (Islande) et de Thorshavn (île Féroë), publiées par le *Signal Office* de Washington, sans compter toutes les observations des stations du continent européen.

A l'aide de ces documents, j'ai pu constater qu'aucune des dépressions ci-dessus n'amène de minimum barométrique à Funchal ni sur les côtes du Portugal; toutes celles que nous avons rencontrées vers la Floride, près du cap Hatteras, sur les côtes du Maine, au sud de la baie de Fundy et au cap Breton, sont au contraire sensibles à Angra do Heroismo, qui forme ainsi un excellent port d'avertissement, et aussi à Ponta Delgada, mais plus faiblement. Toutes ces dépressions passent au N. O. des Açores et généralement à une assez grande distance, de telle sorte que les variations qu'elles déterminent dans ces stations sont ordinairement assez faibles. Enfin, les dépressions qui ont passé par la baie d'Hudson et le Labrador se dirigent vers le détroit de Davis ou l'Islande et nous sont révélées par nos trois stations du Nord.

A l'aide des cartes synoptiques dont j'ai précédemment parlé, j'ai pu constater l'arrivée sur les côtes d'Europe ou sur le nord de l'océan Atlantique de toutes ces dépressions et les suivre ensuite dans leur marche à travers notre continent.

Les dépressions dont nous venons de parler ne sont pas les seules qui abordent les rivages européens; il en est d'autres dont l'importance est très grande en ce qui regarde le climat de nos pays, qui passent entre Madère et la côte d'Afrique et qui nous sont indiquées avec une grande rigueur par les observations de Funchal, ainsi que par celles de Lisbonne et de Campo Maior. Elles se présentent d'ordinaire à l'entrée du golfe de Gascogne, puis vont atteindre la Manche et le canal Saint-Georges. C'est à des dépressions de ce genre qu'ont été dus les puissants coups de sirocco du S. O. de la France que nous avons étudiés. L'origine de ces dépressions nous paraît devoir être cherchée dans l'Amérique méridionale, dans la haute chaîne des Andes. Elles nous paraissent descendre sur l'Atlantique par la vallée de l'Orénoque, ce qui semblerait indiquer la correspondance que nous avons fréquemment constatée entre des baisses barométriques à Paramaribo (Guyane hollandaise) et l'apparition des dépressions vers Funchal. Nous serions même assez porté à croire qu'elles peuvent à certaines époques seulement, aux environs du solstice d'hiver, provenir même de la vallée de l'Amazone. Nous avons en effet constaté que, pendant la seconde quinzaine de décembre et la première de janvier, ces dépressions deviennent plus nombreuses et plus profondes. Nous avons pu également suivre à leur arrivée en Europe et dans leur marche sur le continent toutes ces

dépressions de Funchal, et pour celles-ci, comme pour les précédentes, l'identification s'est toujours faite avec une telle rigueur que chaque fois que j'ai pu commettre momentanément une erreur, elle s'est trouvée immédiatement révélée et corrigée. Il ne nous paraît donc pas possible d'éprouver aucun doute sur l'identité complète des dépressions que nous avons vues s'éloigner des côtes de l'Amérique du Nord ou se montrer vers Funchal avec celles dont nous avons suivi la marche à travers l'Europe. Nos études ont porté pendant la période hivernale de 1876-1877, du 1er octobre au 31 mars, sur 500 à 600 dépressions grandes ou petites, et sur ce nombre il n'en est pas une de celles que nous avons vues traverser l'Atlantique qui n'ait trouvé ses correspondants en Europe, de même qu'il n'en est pas une de celles que nous avons constatées en Europe, à certaines exceptions près que nous signalerons plus loin, dont nous n'ayons reconnu ou le point de départ sur les côtes de l'Amérique du Nord ou le passage vers Madère. Nous insistons sur ce fait, car nous n'ignorons pas que nous nous trouvons ici en contradiction avec ce qui a été admis jusqu'ici par les savants les plus autorisés, par ceux que nous considérons à juste titre comme nos maîtres, et pour lesquels nous éprouvons la plus profonde vénération; mais il y a là pour nous une conviction absolue, résultat de l'étude la plus attentive et la plus sérieuse. Les erreurs qui ont été commises à cet égard tiennent, nous le pensons, à ce que ceux qui nous ont précédé, préoccupés de cette idée généralement admise que la presque totalité des dépressions qui arrivent en Europe proviennent du golfe du Mexique, n'ont pas reconnu qu'il existe en Amérique, du moins pendant la période hivernale, la seule à laquelle s'applique notre étude, plusieurs points de départ échelonnés depuis la baie d'Hudson jusqu'à l'Orénoque et peut-être jusqu'à l'Amazone, et à ce qu'ils ont par suite négligé bon nombre de ces dépressions.

Il est à remarquer que, ces dépressions prenant, les unes fort à l'Ouest, ou plutôt au N. O. des Açores, les autres à l'Est, vers les côtes du Portugal, le centre de calmes signalé par M. Brault, dans cette région de l'Atlantique qui entoure les Açores, se trouve ainsi tout à la fois vérifié et expliqué.

Je ne m'arrêterai pas à décrire ici les trajectoires habituelles des dépressions sur notre ancien continent; je publierai dans mon mémoire cette étude détaillée avec les cartes qu'elle comporte. Il me suffira de dire que j'ai toujours vu la marche des dépressions s'accomplir de la façon la plus régulière, sans arrêts brusques, sans bonds ni sauts, sans confusion ni segmentations; mais que je n'ai jamais vu non plus de dépression se former sur l'Océan, ni aucune dépression se combler en route. Ici encore je choque des idées reçues, mais je dis ce que j'ai vu et j'espère le prouver. Les trajectoires de ces dépressions affectent toujours la même forme, qui diffère peu de celle de la parabole, et peut-être de l'ellipse. Le paramètre de la courbe peut changer selon les époques, mais c'est, croyons-nous, la seule modification qu'éprouvent ces trajectoires. Pendant la période que nous avons étudiée, la branche de retour traverse le plus habituellement la Russie orientale et l'ouest de la Sibérie; mais il y a à cet égard des variations que nous ne pourrions indiquer ici sans prolonger cette note outre mesure.

En résumé, la conclusion de notre étude est celle-ci : *que toutes les dépressions, grandes ou petites, qui arrivent par l'Atlantique, sur un point quelconque de l'Europe, ont leur origine dans les grandes chaînes montagneuses qui forment comme la colonne vertébrale du continent américain, principalement vers l'Ouest.*

Il nous reste à dire comment nous comprenons, dans ces conditions, le mécanisme de la formation de ces puissants tourbillons. Nous n'ignorons pas qu'il est audacieux de sortir du domaine des faits pour entrer dans celui de la théorie, et nous n'avons pas oublié à cet égard les judicieux conseils du savant directeur de l'Institut danois; mais nous essayerons de ne nous appuyer que sur des principes bien établis, sur des observations sérieusement contrôlées, ainsi que sur les résultats de l'analyse mathématique.

On pourra toujours d'ailleurs ne considérer notre théorie que comme l'une de ces hypothèses plus ou moins ingénieuses à l'aide desquelles on a coutume de relier dans la science les faits observés en vue de créer l'expression, de faciliter le raisonnement et de se rapprocher peu à peu de la vérité absolue.

Il est hors de doute aujourd'hui que, dans les régions intertropicales, le sol et les mers, l'air lui-même, étant échauffés par les rayons d'un soleil vertical, l'air se dilate et, devenu plus léger, s'élève, se déverse vers le Nord et vers le Sud et donne naissance à deux courants dirigés vers les pôles, mais qui, en raison du mouvement diurne de la terre et de l'inégale vitesse des points situés sur les divers parallèles, nous paraissent s'infléchir graduellement vers l'Est; ce sont les contre-alizés, ou, comme on a appelé fort improprement celui de l'hémisphère Nord, le courant équatorial. Le point de départ de ce courant n'est point constant; il doit, en effet, dépendre du mouvement solsticial du soleil et se déplacer en même temps que cet astre se meut lui-même sur l'écliptique. Le maximum de chaleur reçue en un jour donné correspond nécessairement, toutes choses égales d'ailleurs, au point qui a le soleil à son zénith, et le maximum d'échauffement en un point donné suit de quelques jours le passage du soleil au zénith, par suite de l'accumulation de chaleur résultant de l'excès de la chaleur reçue sur celle qui est perdue par rayonnement et par convection. Le point, ou plutôt le cercle d'échauffement maximum et, par suite, l'axe du courant d'air ascendant devra donc se déplacer d'un tropique à l'autre et suivre, à quelques jours de distance, le mouvement du soleil sur l'écliptique. Ce fait, établi par le raisonnement, est d'ailleurs confirmé par l'observation directe. En effet, cet air fortement échauffé qui s'élève au-dessus de l'Océan doit être très chargé de vapeurs aqueuses. Or, les principes de la thermo-dynamique nous apprennent que, à mesure qu'il s'élève, il doit se refroidir, se sursaturer et, par suite, donner lieu à la production de brouillards, de nuages et de pluies d'autant plus abondantes qu'il sera plus humide et que son mouvement ascensionnel sera plus rapide, c'est-à-dire qu'il sera plus chaud par rapport à celui qui l'entoure. Ainsi s'explique la formation de cette immense masse de nuages qui constituent ce que l'on a appelé l'*anneau équatorial*, le *pot au noir* des marins; ainsi s'explique cette double saison de pluies estivales qui s'observe dans tous les pays intertropicaux et qui, aux tropiques mêmes, se réduit à une seule.

On sait que ce courant supérieur ne tarde pas à descendre, ou plutôt communique son mouvement par frottement et par entraînement aux masses d'air inférieures, qui toutefois, par suite des résistances qu'elles éprouvent, n'acquièrent jamais qu'une vitesse bien inférieure à ces énormes vitesses que toutes les observations ont constatées dans les couches supérieures de l'atmosphère, par exemple dans la région des cirrus.

Les couches inférieures de cette masse d'air en mouvement qui, en traversant le Pacifique dans ses parties le plus échauffées, se sont chargées d'une quantité considérable d'humidité, viennent-elles à rencontrer une puissante barrière comme celle de la Sierra-Nevada et du Coast-Range en première ligne, des montagnes Rocheuses, plus élevées encore en seconde ligne, dans l'Amérique du Nord, de la Cordillère des Andes dans l'Amérique du Sud, elles sont obligées, pour la franchir, de s'élever sur les pentes, comme cela est constaté par toutes les observations, par suite, de se dilater et de déposer en abondance leur humidité à l'état de pluies abondantes sur les versants, de neige sur les sommets, et d'entretenir ainsi la continuelle humidité et la végétation si exceptionnelle de la zone littorale du Pacifique. Au delà de cette puissante barrière qui l'a complètement desséché, l'air redescend en tourbillonnant, comme nous l'avons prouvé, s'échauffe par la compression et se fait sentir au pied des montagnes avec une température fort élevée et un degré de sécheresse extraordinaire.

Ce mouvement tourbillonnaire de l'air, qui ne se produit, nous l'avons vu, qu'en certains points déterminés et toujours les mêmes, à la hauteur des cols qui traversent la

chaîne montagneuse, ne peut résulter que de l'inégalité de vitesse produite dans les courants d'air par le frottement contre les parois des cols; le mécanisme de leur formation est donc tout à fait analogue à celui des tourbillons que l'on voit si fréquemment se former dans nos rivières pour des causes analogues. Sans doute on objectera que, dans les rivières, il se forme des tourbillons tournant dans deux sens différents, les uns dans le sens direct, les autres dans le sens inverse, par rapport aux aiguilles d'une montre, et que, ici, il en devrait être de même, tandis que dans l'hémisphère boréal tous les mouvements tourbillonnaires atmosphériques ont lieu en sens inverse des aiguilles d'une montre. L'objection est fondée; mais il ne faut pas oublier que, comme l'a démontré mathématiquement M. Peslin, la combinaison du mouvement de la terre avec les diverses forces, agissant sur une molécule gazeuse qui tend à gagner un centre d'aspiration, tend à produire un mouvement tourbillonnaire dirigé en sens inverse de celui des aiguilles d'une montre. Nous ne doutons pas que l'inégalité de vitesse déterminée dans les courants d'air par le frottement contre les parois des cols ne donne lieu d'abord à la production des tourbillons inverses et directs; mais ces derniers doivent être rapidement détruits par l'action du mouvement de la terre qui tend, au contraire, à accélérer la rotation des autres.

Le premier effet du mouvement tourbillonnaire dont nous venons de parler est donc de ramener l'air du sommet de la montagne vers son pied; le sommet du cône hélicoïdal ainsi produit s'abaisse peu à peu vers le sol par un mouvement analogue à celui d'un tire-bouchon; dans son intérieur, les molécules d'air sont projetées par la force centrifuge vers les parois du cône, où l'air s'accumule et se comprime; ainsi s'explique la diminution de pression qui se manifeste au-dessus du centre de ce tourbillon.

Mais en même temps un autre phénomène se produit qui résulte de l'extrême mobilité des molécules d'air. Le mouvement tourbillonnaire se communique non seulement latéralement à la masse d'air extérieure, mais aussi de bas en haut, de telle sorte que le mouvement s'étend peu à peu aux couches plus élevées de l'atmosphère et de l'air plus humide que le premier, puisqu'il n'a pas comme lui complètement déposé sa vapeur d'eau, se trouve ramené vers le bas; c'est ce qui explique pourquoi, dans tous les cas de sirocco, c'est au commencement même du phénomène que l'air présente son plus grand état de sécheresse, tandis que l'on voit ensuite le degré hygrométrique se relever de plus en plus. Le mouvement tourbillonnaire, continuant à se propager de bas en haut, finit par atteindre la région des cirrus, qui sont, à leur tour, entraînés de haut en bas, se transforment en cumulus, puis en nimbus; l'air dans les régions inférieures revient bientôt à l'état de saturation, puis la pluie et les orages, que nous avons fait voir être toujours la suite de chaque coup de sirocco, ne tardent pas à se produire, mais souvent loin du lieu où le tourbillon avait pris naissance, si, comme cela arrive souvent, il a commencé à se déplacer avant d'avoir atteint cette dernière phase.

Pendant que s'accomplissaient les phénomènes précédents, une autre modification s'est produite dans la nature du tourbillon, et un récent mémoire de M. Hirn [1] est venu jeter sur ce phénomène un jour tout nouveau. M. Hirn a, en effet, montré que si, dans le fond d'un verre contenant un liquide en repos, on vient à percer une ouverture en mince paroi, il se produit une veine liquide qui reste transparente et cristalline jusqu'à une assez grande distance du verre; mais si, à l'aide d'une palette ou d'une large spatule, on imprime aux couches supérieures du liquide un mouvement de rotation, on voit immédiatement le liquide se creuser en forme d'entonnoir. Il se forme à son intérieur une véritable *trombe* d'air qui non seulement occupe toute la hauteur du verre, mais traverse l'orifice d'écoulement et s'étend jusque dans la veine primitive-

[1] Étude sur une classe particulière de tourbillons qui se manifestent sous certaines conditions spéciales dans les liquides, par G.-A. Hirn. — 1878.

ment limpide. Cette *trombe* se maintient aussi longtemps qu'il y a du liquide dans le verre, même alors qu'il est réduit à une faible épaisseur. Le liquide est continuellement animé d'un mouvement tourbillonnaire hélicoïdal conique qui se communique à la masse entière du liquide et dont la vitesse va en augmentant de la circonférence au centre. — M. Hirn a, de plus, constaté que le mouvement initial de rotation du liquide n'est pas nécessaire pour que ce phénomène se produise; il suffit de lui imprimer à la surface une certaine vitesse toujours dans le même sens. Ainsi, les conditions nécessaires pour que ce genre de tourbillons se produise, c'est une vitesse impulsive en haut, un écoulement continu par en bas. Or, dans l'air, et dans le cas que nous considérons, ces deux conditions se trouvent réalisées : le mouvement impulsif est produit par l'énorme vitesse des couches supérieures du contre-alizé; l'écoulement inférieur consiste dans le mouvement tourbillonnaire primitif qui ramène l'air de haut en bas. C'est dans ces conditions que le mouvement tourbillonnaire change de nature et se convertit en une dépression permanente et voyageuse qui se maintiendra aussi longtemps que dureront les conditions qui lui ont donné naissance, tandis que le tourbillon primitif eût été destiné à s'éteindre rapidement.

Mais ici se présente immédiatement une objection des plus graves. D'après ce qui précède, je devrais conclure, ce semble, à l'existence de dépressions descendantes, alors que tous les faits constatés, non moins que la théorie mathématique, prouvent, sans que l'on en puisse douter, que le mouvement d'aspiration de l'air se fait de l'aire de hautes pressions vers le centre de dépression, et si j'étais amené à conclure le contraire, toute ma théorie s'écroulerait immédiatement. Mais il n'en est rien. Il se fait au centre de notre immense tourbillon un véritable vide qui détermine une puissante aspiration de bas en haut et un violent appel d'air de toutes les régions circonvoisines. Cet appel se fait directement à la partie inférieure, vers l'axe; mais par suite de la combinaison de la force ainsi produite avec la rotation de la terre, la force centrifuge et le frottement, le mouvement d'approche se produit en spirale, comme l'indique nettement la direction des vents, tous légèrement inclinés par rapport aux isobares vers le centre d'aspiration et, par suite, le mouvement ascensionnel intérieur se produit à son tour suivant une hélice conique, comme l'ont établi toutes les observations faites sur les effets des trombes. Les curieuses expériences réalisées par M. Bouquet de la Grye dans une des séances du Congrès météorologique ont montré matériellement cet effet d'aspiration et la puissance extrême avec laquelle il se produit.

Le tourbillon une fois constitué, sa force vive s'accroît au fur et à mesure que, s'étendant par en haut, il atteint des couches d'air animées d'une plus grande vitesse et que la masse de l'air en mouvement devient plus considérable; en même temps, son rayon d'action se développe par la communication latérale du mouvement; c'est ainsi que dans nos régions septentrionales nous voyons ces dépressions devenir toujours à la fois plus profondes et plus étendues.

Comment se fait-il que, la production et la marche des contre-alizés étant continue, les tourbillons n'apparaissent que d'une façon intermittente et que leur puissance soit extrêmement variable? Ceci ne nous paraît pouvoir être attribué qu'à des variations d'intensité dans la puissance et la vitesse des courants des contre-alizés, et, comme cette puissance et cette vitesse dépendent elles-mêmes de l'intensité de l'action calorifique solaire, c'est dans le grand moteur universel, dans le soleil, qu'il en faut aller chercher la raison.

L'apparition des taches ou tourbillons à la surface du soleil, paraissant être en relation intime avec les maxima et les minima d'activité solaire, pourrait ainsi se trouver également en relation avec la production des tourbillons atmosphériques, et ainsi s'expliquerait peut-être, si elle était démontrée, la période de onze ans que l'on a cru remarquer pour nos tourbillons, comme pour les taches solaires. C'est un sujet

de recherches des plus importants pour l'avenir de la météorologie et de la prévision du temps à longue période.

Je remarquerai en terminant que les mêmes phénomènes que nous avons constatés au passage des grandes chaînes de montagnes de l'Amérique se reproduisent, comme nous l'avons montré, bien qu'avec une intensité moindre, à la rencontre des chaînes de montagnes si capricieusement distribuées dans notre ancien continent. Ainsi prennent naissance de fort nombreux tourbillons locaux qui ont une influence capitale sur le climat de nos pays et sur lesquels nous ne saurions trop appeler l'attention de nos collègues, surtout de ceux qui s'occupent de la prévision du temps. Ce sont ces tourbillons, en effet, comme nous l'avons maintes fois vérifié, qui, formés au passage des Pyrénées, au fond du golfe de Gascogne, où ne pénètrent jamais les dépressions atlantiques, s'élèvent par les côtes basses des Landes, pour contourner les versants Ouest et N. O. du plateau central de la France, et se diriger vers la trouée des Ardennes et de là gagner la Hollande, déterminant dans le S. O. et le centre de la France les pluies et les orages; ce sont eux encore qui, formés au passage de l'Atlas, des montagnes de la péninsule hispanique, des Pyrénées-Orientales, des Cévennes, des Alpes et des Apennins, etc., constituent les tempêtes du bassin méditerranéen, puis, réunis à celles qui, fréquemment, descendent à travers l'Allemagne ou la Pologne, de la mer du Nord vers l'Adriatique ou la mer Noire, suscitent les tempêtes si violentes de cette dernière mer et du lac d'Aral.

Nous souhaitons vivement que les faits que nous avons constatés soient attentivement étudiés par nos collègues, comme nous continuerons à les étudier nous-même. N'oublions pas que ce n'est qu'à l'aide de longues périodes que l'on peut arriver à établir les lois en météorologie, et que, d'ailleurs, notre première tâche n'est qu'à moitié remplie, puisque notre étude ne comprend encore qu'une moitié de l'année, la période hivernale.

Annexe n° 7.

THÉORIE DES RAPPORTS

QUI EXISTENT ENTRE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE MOYENNE D'UN POINT DE L'ATLANTIQUE NORD ET LA DIRECTION ET LA VITESSE DES VENTS, EN CE MÊME POINT, PENDANT LES MOIS D'ÉTÉ,

PAR L'ABBÉ ROUGERIE,

CURÉ ARCHIPRÊTRE DE ROCHECHOUART, MEMBRE DE LA COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA HAUTE-VIENNE.

Du pôle à l'équateur, sur la surface du globe, la pesanteur diminue de $\frac{1}{200}$; en sorte qu'un objet pesant 200 grammes au pôle pèserait, à l'équateur, 199 grammes seulement.

Cette perte de poids se produit en raison directe du cosinus de la latitude.

Or l'atmosphère, à la surface du globe, a un poids moyen qui diffère peu de celui d'une colonne de mercure de $0^m,760$ de hauteur. Ce chiffre ressort de l'inspection attentive des isobares de M. le docteur Wojeikoff.

Cela posé, la perte de poids subie à l'équateur par l'atmosphère égale $0^m,760 \times \frac{1}{200}$ ou $0^m,0038$. Pour les autres points de la surface du globe, cette perte est proportionnelle au cosinus de leur latitude; appelant D la dépression barométrique résultant du changement en poids de l'atmosphère suivant la latitude φ, nous aurons

$$D = \cos\varphi \times 0^m,0038.$$

Ce soulèvement de l'enveloppe aérienne est le point de départ des mouvements de l'atmosphère et des oscillations du baromètre. Voici comment il les engendre sous l'action de la force centrifuge :

L'air, perdant, de seconde en seconde, son équilibre par le soulèvement de sa masse, du pôle à l'équateur, subit une perturbation profonde; la tranche équatoriale, surélevée de $\frac{1}{200}$ à la seconde, s'écoule par le sommet et s'étale, sous la forme d'un courant supérieur, sur les tranches aériennes dont le cosinus est plus petit; à la même seconde, l'air formant la base de ces tranches, foulé à sa partie supérieure par l'air qui s'est déversé sur lui et aspiré à sa partie inférieure par les régions dont le cosinus est plus grand, se précipite dans le vide de $\frac{1}{200}$ de la pesanteur atmosphérique, produit à la base de la tranche équatoriale.

En d'autres termes, la zone équatoriale pousse vers le zénith un immense jet d'air sans cesse alimenté par les alizés, mus eux-mêmes par la force

$$D = \cos\varphi \times 0^m,0038,$$

par le poids du courant supérieur que la rotation surajoute et par l'appel incessant de l'aspiration équatoriale.

Au sommet de son parcours, le jet équatorial se partage en deux contre-courants supérieurs. L'un coule au Midi, l'autre se dirige vers le Nord, descend sur l'Atlan-

tique à la hauteur des Açores, et, sous la forme d'alizé, recommence le perpétuel circuit [1].

Ce grand trait de la circulation atmosphérique est rigoureusement exact. Sur les cartes du Ministère de la marine, et spécialement sur la carte de la circulation atmosphérique de l'Atlantique Nord dans la saison d'été, publiée par M. Brault, le vent fait son apparition en descendant du zénith au centre de l'Atlantique Nord; il se dirige obliquement vers les régions de l'équateur, d'où il s'élance de nouveau vers le zénith, seule voie ouverte aux deux courants qui du N. E. et du S. E. coulent sans cesse avec une vitesse moyenne de 6 mètres à la seconde. Jamais leur masse énorme, qui s'engouffre sans cesse vers le zénith, n'assouvit l'appel équatorial. Jamais sous l'équateur ils ne refluent du zénith à la surface de l'Océan.

Passons à l'influence du vent sur le baromètre.

En comparant la carte des vents de M. Brault à celle des isobares du docteur Wojeikoff, on est frappé de l'évidence de cette loi.

Le point central de l'Atlantique Nord, où apparaissent les vents, est le lieu des pressions maxima; le pourtour de l'Atlantique, où disparaissent les vents, est le lieu des pressions minima.

Le centre de l'Atlantique Nord est le point culminant des hautes pressions et le point d'origine des vents. A ce double titre, il sera le point de départ de nos calculs. Sa pression moyenne 0,768 servira de terme de comparaison à la pression moyenne de chacun des autres points de l'Atlantique Nord, pris séparément. Appelant P la pression moyenne d'un lieu, nous aurons :

$$P = 0{,}768 - D \text{ ou } - \cos\varphi \times 0{,}0038.$$

De là notre formule A :

$$P = 0{,}768 - \cos\varphi \times 0{,}0038.$$

qui donne la hauteur barométrique moyenne de 24 carrés de 5° entourant l'aire de naissance des vents. Elle convient aux carrés dans lesquels le vent, après avoir cessé son mouvement descendant, court parallèlement à la surface de l'Océan vers les points d'où il doit remonter au zénith.

L'aire du vent descendant occupe le centre de l'Atlantique, l'aire du vent rasant est concentrique à l'aire du vent descendant, et l'aire du vent ascendant est à peu près concentrique aux deux aires précédentes et modelée sur les rivages de l'Atlantique qui ne peuvent être franchis que par un mouvement ascensionnel.

Saisissons la loi qui relie la pression barométrique à la vitesse et à la direction du vent.

Si l'air était chassé de bas en haut par la force centrifuge avec une vitesse égalant, à la seconde, la distance qui sépare la base de l'atmosphère de son sommet, la pesanteur atmosphérique serait 0,000; s'il était chassé avec une vitesse égalant, à la seconde, la moitié de cette hauteur, le poids de l'atmosphère égalerait $\frac{0{,}760}{2}$ ou $0^m{,}380$, etc.

Ainsi donc, *le vent ascendant fait monter le mercure dans la cuvette barométrique, et le vent descendant le fait descendre, chaque vent agissant en proportion de sa vitesse. Le vent rasant laisse en repos le mercure.*

Sans nous préoccuper des autres dimensions, considérons l'atmosphère comme une enveloppe de mercure ayant $0^m{,}768$ de hauteur.

Que suivant un plan vertical il se produise dans la masse un courant circulaire, le

[1] *Lustrans universa in circuitu pergit spiritus.* « Le vent parcourt l'univers en un circuit et revient dans ses cercles. » *Eccl.* ch. I, v. 6.

mercure descendant d'un côté avec une vitesse de $0^m,001$ à la seconde, la pesanteur surajoutée de ce côté sera égale à 0,768 plus la vitesse qui est de $\frac{1}{0,768}$ de la hauteur ou $0^m,001 \times 0,768$ ou $0^m,000768$.

Le rapport constant de pesanteur entre la masse du mercure et l'unité de vitesse de cette masse est donc 0,000768.

Passons du courant de mercure au courant aérien. Appelant P la pression ou la dépression causée par le vent, nous aurons

$$P = \pm V \times 0,000768.$$

D'où, pour le vent ascendant, la formule :

$$P = 0,768 - \cos \varphi \times 0,0038 - V \times 0,000768;$$

et pour le vent descendant :

$$P = 0,768 - \cos \varphi \times 0,0038 + V \times 0,000768.$$

Dans le calcul des moyennes où V est le résultat de nombreuses observations, il faut diviser la rose des vents en deux parties égales et additionner ensemble les huit rumbs du vent dominant, et ensemble les huit rumbs du vent secondaire, de manière à obtenir d'un côté le chiffre le plus fort des observations, et de l'autre le chiffre le plus faible; on réduit en mètres le débit de chacun des deux vents pendant la durée des observations; on retranche le débit le plus faible du débit du plus fort; on divise le reste par le nombre des observations du vent dominant et l'on a la quantité de la dominance d'un courant sur l'autre; d'où cette formule pour le vent :

$$\frac{V - V'}{N}.$$

On opère sur ce courant comme il a été dit ci-dessus et l'on obtient la hauteur barométrique moyenne du lieu des observations. Ce qui nous conduit à ces nouvelles formules :

$$AB : P = 0,768 - \cos \varphi \times 0,0038 - \frac{V - V'}{N} 0,000768.$$

Le vent descendant n'offre pas de carré où il règne complètement; nous n'avons pu en saisir la loi que par cette formule :

$$AC : P = 0,768 - \cos \varphi \times 0,0038 + \frac{V + V'}{N + N'} 0,000768 \times K,$$

en additionnant les deux débits, en les divisant par le nombre total des observations et en ajoutant un coefficient.

Cette formule, moins précise que les deux autres, n'affaiblit en rien le principe de la dépression du plan du mercure de la cuvette par l'action du vent descendant. Elle est susceptible d'une amélioration que l'insuffisance de nos moyens ne nous a pas permis d'atteindre.

AB s'applique à 81 carrés sur 105 sans le secours de coefficients. Les 26 carrés qui ont besoin de coefficients sont tous intermédiaires entre l'aire A et l'aire AB. Par suite de cette position, les vents y sont rasants du côté A et ascendants du côté AB; l'horizontalité et l'ascendance y règnent dans la proportion marquée par le coefficient.

Dans tout carré de l'Atlantique Nord, toujours le vent dominant vient du centre du bassin, toujours il souffle en forme d'éventail aux branches courbes et marche dans le sens des aiguilles d'une montre en se dirigeant vers l'un des bords de la couche océa-

nienne; et son cours, comme celui des fleuves, croît de la source à l'extrémité inférieure du parcours. Si l'on compare le courant qui se dirige vers le nord des Açores à celui qui se dirige vers le sud, ils croissent en raison des cosinus, preuve nouvelle de l'influence de la rotation sur l'origine des vents. En amont, le fleuve aérien fait baisser le mercure de la cuvette; au milieu, il le laisse en repos; à l'extrémité d'aval, il le fait remonter.

Ces principes, base de la théorie du mouvement dans la masse des eaux aussi bien que dans la masse de l'air [1], sont aussi la base de la météorologie; ils permettent de l'élever à la hauteur d'une science. J'entrevois des conséquences très importantes qu'il ne m'a pas encore été permis d'aborder.

Je puis néanmoins, dès aujourd'hui, en offrir une application expérimentale par l'ébauche d'un appareil reproduisant mécaniquement, en vertu de ces principes, les grands courants de l'atmosphère [2].

Bientôt le savant, dans son cabinet, pourra devant cet appareil étudier en miniature les grands traits de l'admirable disposition par laquelle le Créateur distribue le mouvement et la vie à la surface du globe.

[1] Cette théorie de l'action mécanique n'exclut ni l'action de la chaleur ni même celle des forces cosmiques.

[2] Cet appareil a fonctionné aux Tuileries sous les yeux du Congrès météorologique.

Les formules ci-dessus exposées ont été publiées à Paris, chez Arthus Bertrand, rue Hautefeuille, 21, sous le titre de *Recherches sur la loi fondamentale qui relie la pression barométrique moyenne d'un point de l'Atlantique Nord à la direction et à la vitesse des vents en ce même point.* On y trouve un exemple de l'application de la formule AB et les quatre cartes suivantes dont les résultats seront des plus surprenants pour les savants météorologistes que notre théorie encore imparfaite, nous le reconnaissons volontiers, n'aura pu convaincre.

Planche I. Carte d'application des formules du calcul des pressions barométriques d'après les vents, et produit, de 5° en 5°, de cos $\varphi \times 0^{m},0038$.

Planche II. Pression barométrique moyenne de 158 carrés de 5°, calculée d'après la direction et la vitesse des vents.

Planche III. Lignes isobares obtenues par le calcul, tracées de millimètre en millimètre.

Planche IV. Carte expérimentale des pressions barométriques moyennes, d'après le docteur Wojeikoff, à comparer avec la carte des pressions calculées, planche III.

ANNEXE N° 8.

NOUVELLES LOIS SUR LA VITESSE DU VENT,

DÉDUITES DE ONZE ANNÉES D'OBSERVATIONS ANÉMOMÉTRIQUES FAITES À L'OBSERVATOIRE DE MODÈNE,

PAR M. LE PROFESSEUR D. RAGONA.

(Traduction par M. A. Angot.)

Les observations dont j'ai l'honneur d'exposer aujourd'hui les résultats définitifs ont été obtenues pendant une série de onze années, au moyen d'un excellent anémographe électrique construit par M. Salleron, de Paris.

J'ai commencé par réunir les valeurs numériques qui donnent la vitesse du vent en kilomètres pour chaque heure du jour, puis pour chaque décade, chaque mois et chaque année d'observation. Depuis, j'ai considéré à part les données relatives aux vents violents, c'est-à-dire par ceux qui, à Modène, ont une vitesse plus grande que 30 kilomètres à l'heure. Pour ces derniers, j'ai trouvé qu'à Modène, dans tout le cours d'une année, les vents violents ne viennent jamais du quadrant N.-NW.-W., tandis qu'au contraire, le vent de N.E. est pour toute l'année un vent violent, et le plus violent de tous au printemps, en été et en automne. En hiver, au contraire, le vent le plus violent est le S.E. Les vents les plus violents comme force soufflent en hiver; ceux qui durent le plus longtemps soufflent au printemps.

Enfin, la répartition des vents violents entre le jour et la nuit est exprimée de la façon suivante : en représentant par 100 le nombre des vents violents de nuit, ceux qui soufflent pendant la journée sont au nombre de :

En hiver	112
Au printemps	282
En été	309
En automne	160

La supériorité des vents violents de jour sur ceux de nuit est donc la plus marquée en été et la moindre en hiver, saison où ces deux vents sont presque en même nombre. Cette quasi-égalité, trouvée pour la moyenne des trois mois d'hiver, tient à ce qu'en décembre et en janvier les vents violents sont plus nombreux la nuit que le jour.

Dans le cours de l'année, la plus grande fréquence des vents violents se présente au printemps et la moindre en été. En représentant par 100 le nombre total des vents violents pour une année, on trouve qu'il s'en présente :

En hiver	17
Au printemps	45
En été	14
En automne	24

Ayant ainsi établi les données principales relatives à la vitesse du vent, et en parti-

culier pour les vents violents, je diviserai la discussion générale des observations en deux parties. Dans la première, je traiterai de la période diurne et, dans la seconde, de la période annuelle.

Voici l'exposé sommaire de la méthode que j'ai suivie:

Les valeurs données par les observations ont servi à calculer une formule périodique, qui a été déterminée de telle sorte que les résultats qu'elle fournit soient extrêmement voisins de ceux que donne l'expérience directe; souvent même les deux valeurs coïncident exactement. Cette formule n'a servi ensuite qu'à compléter les résultats de l'observation, en donnant la valeur exacte et la position des maxima et des minima qui se manifesteraient simplement par une inflexion de la courbe, et non plus par un sommet ou une concavité.

Dans ce cas, j'ai suivi la marche suivante:

Ayant formé la table des différences et des différences secondes des valeurs calculées, j'ai remarqué qu'un maximum est toujours précédé d'un changement de signe des différences secondes qui, de positives, deviennent négatives, puis suivi d'un changement inverse. Si l'on calcule les époques où ont lieu ces deux changements consécutifs, la moyenne des deux représente d'une façon très exacte l'époque du maximum. De même, avant un minimum, les différences secondes de négatives deviennent positives, puis changent encore de signe après le minimum; en prenant la moyenne des deux époques de changement de signe, on obtient très exactement l'époque du minimum.

Cette propriété de la moyenne des deux époques pour déterminer un maximum ou un minimum ne se vérifie pas seulement quand ces maxima ou minima sont accusés par des sommets ou des creux de la courbe, mais encore quand ils ne sont indiqués que par de simples inflexions.

Supposons donc qu'un phénomène présente, à une certaine époque de l'année, un *maximum absolu*, mais que ce maximum aille en s'affaiblissant à des époques ultérieures jusqu'à devenir presque insensible, pour recommencer à croître de nouveau plus tard. Si l'on veut déterminer l'époque où ce maximum se produit, quand il ne se manifeste plus que par une sinuosité plus ou moins marquée de la courbe, il faudra recourir à la formule, qui permettra toujours d'obtenir l'époque cherchée, comme nous l'avons dit plus haut. On suivra la même marche pour trouver l'époque des minima.

C'est grâce à ce moyen, en associant utilement les résultats du calcul à ceux de l'observation directe, que j'ai pu compléter la discussion des époques critiques pour les observations anémométriques.

Dans la période diurne de Modène, on trouve huit actions qui tendent alternativement à accroître ou à diminuer la vitesse du vent. Les époques où ces huit actions exercent leurs effets sont les suivantes pour les différentes saisons:

SAISONS.	I. — Maximum.	II. — Minimum.	III. — Maximum.	IV. — Minimum.	V. — Maximum.	VI. — Minimum.	VII. — Maximum.	VIII. — Minimum.
	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.
Hiver	1 52	4 49	9 83	10 61	13 20	15 51	18 33	22 44
Printemps	4 02	6 69	8 05	10 93	13 31	15 28	16 87	19 56
Été	4 70	6 83	7 88	11 22	13 21	14 73	16 47	19 28
Automne	1 16	4 88	8 56	10 89	13 46	15 71	18 07	21 05
Année	3 00	5 72	8 58	10 91	13 29	15 31	17 43	20 58

J'ai calculé, pour chacune de ces huit actions, une formule générale qui donne l'heure à laquelle elle se manifeste pour chaque moment de l'année. Comme la manière d'être de ces huit actions est loin d'être la même, il est nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques détails.

I. La première action produit le *maximum absolu* des vents en mars, avril, mai et juin. Elle décroît successivement d'intensité dans les autres mois et est faible et presque nulle en juillet, août et septembre. Puis elle augmente progressivement d'intensité jusqu'aux quatre mois que nous avons cités en premier. L'heure à laquelle se manifeste cette action est plus avancée, c'est-à-dire plus loin de midi, à l'époque du solstice d'été, et moins avancée au solstice d'hiver; elle est enfin sensiblement la même aux deux équinoxes. La courbe qui représente cette variation de l'heure a donc par an un maximum et un minimum. Le moment de cette action coïncide aux deux équinoxes avec celui du maximum de la température; dans le semestre de mars à août, il suit l'heure du maximum de température et le retard est le plus grand au solstice d'été. Dans le semestre de septembre à février, au contraire, il précède le maximum de température et l'avance la plus grande se produit au solstice d'hiver. Enfin l'époque de cette action coïncide au solstice d'été seulement avec l'heure du minimum barométrique de l'après-midi, mais la précède dans tout le reste de l'année, et l'avance est la plus grande au solstice d'hiver. Les moments de ces deux derniers phénomènes vont en s'écartant de juin à décembre, et en se rapprochant de décembre à juin.

II. La deuxième action produit le *minimum absolu* de la vitesse du vent en décembre et janvier. Elle va progressivement en diminuant et ne se manifeste plus, en juillet, août et septembre, que par une inflexion dans la courbe de la vitesse. Les variations, dans le cours de l'année, de l'heure de cette action sont encore représentées par une courbe à un maximum et un minimum qui dépendent de la position du soleil dans son orbite. L'heure de cette action est maxima (la plus éloignée du midi) au solstice d'été, minima au solstice d'hiver et moyenne aux équinoxes de printemps et d'automne. Cette action appartient à la catégorie des influences qui augmentent de valeur pendant les mois d'hiver.

III. A la différence de ce qui s'est passé dans les deux cas précédents, l'heure où la troisième action exerce son effet est représentée dans le cours de l'année par une courbe à deux maxima et deux minima. Les deux maxima se présentent aux solstices; les deux minima aux équinoxes. Cette troisième cause produit le *maximum absolu* de la vitesse du vent dans les mois de juillet, août, septembre, octobre et novembre. Elle va graduellement en diminuant dans les autres mois et n'exerce presque plus aucun effet dans le cœur de l'hiver. A la différence de la deuxième action qui avait son maximum en décembre et janvier, la troisième est la plus faible pendant ces deux mêmes mois. Cette troisième action est une des principales: elle coïncide pendant toute l'année avec l'heure où la température diurne passe la deuxième fois par sa valeur moyenne. Elle est aussi en relation avec le coucher du soleil, et son effet se produit deux heures et demie, en moyenne, après l'heure du coucher. Le coucher du soleil a donc cette singulière propriété d'être suivi, à deux heures et demie de distance, en moyenne, par un maximum de la vitesse du vent, maximum qui, pour cinq mois de l'année, est un *maximum absolu.*

IV. La quatrième cause ne produit que des minima secondaires, qui sont nettement accusés en hiver et en automne, mais ne sont que peu ou point sensibles en été et au printemps. Cette quatrième cause appartient à la classe des phénomènes qui sont à peu près indépendants des saisons. La courbe de l'heure où cet effet se produit suivant les différents mois est sensiblement une ligne droite. Enfin cette quatrième cause semble en rapport avec le premier maximum diurne du baromètre.

V. La cinquième action est très remarquable : elle produit un *maximum absolu* de la vitesse du vent en décembre, janvier et février. Elle appartient donc, comme la seconde, à cette classe de phénomènes qui reçoivent un accroissement d'intensité dans les mois d'hiver. Dans les autres mois, elle amène des maxima secondaires, ou bien devient insensible. L'étude de cette cinquième cause conduit aux deux remarques suivantes : on explique généralement qu'en hiver la vitesse du vent est maxima la nuit en admettant que, dans cette saison, les vents violents sont plus fréquents la nuit que le jour; la cinquième action nous montre que cet effet se manifeste dans tout le cours de l'année, soit par de fortes inflexions, soit par des maxima secondaires, mais nettement accusés. Ces maxima existent principalement en mars, avril et octobre, mois dans lesquels le nombre des vents violents de jour est double de celui des vents violents de nuit. Il faut admettre que dans les longues nuits d'hiver il y a une cause occulte qu'il faudrait déterminer et qui tend à accroître la vitesse du vent. La cinquième cause, en traversant l'année d'un bout à l'autre, produit généralement de petits maxima, mais amène en hiver le maximum absolu de la vitesse. C'est par suite de cette cause, qui tend à changer, pendant les nuits d'hiver, les vents forts en vents violents, que les vents violents sont plus fréquents, en hiver, la nuit que le jour. Ce mode d'action nous montre en outre qu'il y a dans la nature des phénomènes qui sont, quant à l'époque de leur apparition, indépendants de la saison. Ce fait, du reste, n'est pas nouveau en météorologie : à Modène, l'heure du premier maximum barométrique diurne oscille dans toute l'année entre des limites très resserrées, et ce maximum se présente, comme cela vient encore d'être prouvé à Milan par le docteur Celoria, au moment où la température passe, le soir, par la valeur diurne moyenne.

VI. La sixième action ne donne jamais naissance, dans toute l'année, à un minimum absolu; elle ne produit que des minima secondaires ou des inflexions dans la courbe calculée. Cette action se manifeste, en moyenne, à une distance de douze heures de la première.

VII. A aucune époque de l'année la septième action n'amène un maximum absolu; elle ne produit que des maxima secondaires ou des inflexions dans la courbe de la vitesse du vent. Cette action se manifeste, en moyenne, douze heures après la seconde.

VIII. La huitième action est la plus forte et la plus remarquable de toutes. L'heure à laquelle elle se manifeste est maxima au solstice d'hiver, minima au solstice d'été et la même aux deux équinoxes. Ses principaux caractères sont les suivants : jamais dans toute l'année elle ne s'affaiblit au point de devenir presque insensible, comme il arrive pour toutes les actions précédentes; au contraire, elle se manifeste toujours par un minimum bien accusé. Pour dix mois consécutifs, ce minimum correspond au minimum absolu de la vitesse du vent. Dans tout le cours de l'année, cette action se manifeste douze heures après la troisième et se produit après le lever du soleil, à peu près à la distance même où la troisième action suit le coucher du soleil. Le lever du soleil possède donc la propriété singulière d'être suivi, à environ deux heures et demie de distance, par un minimum de la vitesse du vent, minimum qui, pour presque toute l'année, est un minimum absolu.

Les principales indications qui résultent des considérations ci-dessus et de l'examen des courbes que j'ai eu l'honneur de soumettre au Congrès, peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Les deux actions III et VIII se manifestent constamment, dans toute l'année, par des effets très marqués : un maximum et un minimum effectifs;

2° Les six actions I, II, IV, V, VI et VII s'affaiblissent à certaines époques au point de ne plus produire de maxima ou de minima effectifs, mais seulement des inflexions dans la courbe calculée des vitesses; puis elles reprennent graduellement leur intensité;

3° Les cinq actions I, II, III, V et VIII peuvent, à certaines époques, prendre une valeur assez grande pour produire le maximum ou le minimum absolu de la vitesse;

4° Les trois actions IV, VI et VII ne produisent jamais le maximum ou le minimum absolu;

5° Les deux actions VI et VII sont celles qui produisent le moins souvent des maxima ou minima effectifs;

6° Le coucher du soleil est suivi, à la distance moyenne de deux heures et demie, par un maximum qui, pour cinq mois consécutifs, est le maximum absolu. Le lever du soleil est suivi, à la même distance moyenne, par un minimum qui, pour dix mois consécutifs, est le minimum absolu;

7° De même que les actions III et VIII sont très remarquables par leur force, leur constance et leur relation avec le lever et le coucher du soleil, les actions II et V le sont également par leur particularité d'être très faibles et presque nulles pendant la saison chaude et de ne se produire énergiquement qu'en hiver. Ces deux actions (II et V) trouvent dans la saison froide toutes les conditions nécessaires à leur libre développement, tellement qu'elles se manifestent alors avec des caractères opposés à ceux qui dominent généralement dans le reste de l'année. En effet, les maxima absolus produits en hiver par la cinquième action arrivent seuls au cœur de la nuit, et les minima absolus amenés en hiver par la deuxième action sont les seuls qui échappent à la loi de dépendance du minimum absolu et du lever du soleil;

8° La distribution des maxima et des minima absolus dans les différents mois est la suivante :

	MAXIMUM ABSOLU.	MINIMUM ABSOLU.
Décembre	V	II
Janvier	V	II
Février	V	VIII
Mars	I	VIII
Avril	I	VIII
Mai	I	VIII
Juin	I	VIII
Juillet	III	VIII
Août	III	VIII
Septembre	III	VIII
Octobre	III	VIII
Novembre	III	VIII

Ce tableau montre que le régime de la vitesse du vent n'est régulier et symétrique que dans les mois compris entre juillet et novembre, la plus grande vitesse se produisant à un petit intervalle après le coucher du soleil, et la plus faible à un petit intervalle après le lever.

Pour trouver les lois de la marche annuelle de la vitesse des vents, j'ai fait usage des éléments calculés par décades et j'ai déterminé, avec les précautions nécessaires, la formule générale qui représente la vitesse du vent à une époque quelconque de l'année. J'ai ensuite déduit de cette formule le tableau des valeurs normales pour chaque jour de l'année, pour chaque pentade, pour chaque décade, pour chaque mois et pour chaque saison. Le degré d'exactitude de cette formule et la comparaison des valeurs qu'elle fournit avec les données des observations d'années ultérieures sont l'objet de discussions spéciales.

Toutes circonstances étant égales, quand le nombre des années d'observations sur lesquelles on établit une formule périodique va en croissant, on voit croître en même temps le nombre des propriétés caractéristiques du phénomène, qui deviennent apparentes. Des maxima ou des minima bien marqués ne gagnent généralement que peu à

mesure que le nombre des années d'observation va en croissant; mais, au contraire, d'autres inflexions plus faibles et plus dissimulées par des anomalies commencent à se manifester dès que la série des observations atteint une certaine longueur et leur caractère devient de plus en plus net à mesure que la durée de la série augmente.

Le caractère fondamental de la marche annuelle de la vitesse du vent est la correspondance inverse des maxima et des minima de la courbe anémométrique annuelle avec les maxima et les minima de la courbe barométrique. Ce fait m'a servi à déterminer par des chiffres la valeur de la formule que fournirait un nombre différent d'années d'observation. En prenant, sans tenir compte des signes, la valeur moyenne des différences entre les données des maxima et minima de la courbe anémométrique, et celles des minima et maxima correspondants de la courbe barométrique, on trouve :

	DIFFÉRENCE MOYENNE.
	jours.
Formule calculée avec huit années d'observations	10,0
Formule calculée avec onze années d'observations	6,8

Je n'ai comparé jusqu'ici que les maxima et les minima effectifs; mais la discussion de la formule anémométrique annuelle nous fait connaître un autre fait. Les maxima et minima sont déterminés avec une exactitude plus grande en prenant la demi-somme des époques où les différences secondes changent de signe. En désignant par M le résultat de la comparaison des maxima et minima effectifs et par S celui que donnent les demi-sommes, j'ai obtenu :

	DIFFÉRENCE MOYENNE.	
	Méthode M.	Méthode S.
	jours.	jours.
Formule calculée pour huit années d'observations	10,0	6,00
Formule calculée pour onze années d'observations	6,8	4,28

Prenons donc la méthode S et comparons la formule anémométrique avec la formule barométrique que j'ai déterminée dans mon mémoire *Andamento annuale della pressione atmosferica* (marche annuelle de la pression atmosphérique). En appelant B les époques des maxima et des minima barométriques, A celles des minima et maxima anémométriques correspondants, je trouve entre ces époques les différences suivantes :

	A—B.	
	JOURS.	FRACTION D'ANNÉE.
1er max. barométrique et 1er min. anémométrique	+ 5	+ 0,0137
1er min. barométrique et 1er max. anémométrique	+ 6	+ 0,0164
2e max. barométrique et 2e min. anémométrique	+ 14	+ 0,0383
2e min. barométrique et 2e max. anémométrique	+ 14	+ 0,0383
3e max. barométrique et 3e min. anémométrique	+ 2	+ 0,0055
3e min. barométrique et 3e max. anémométrique	+ 4	+ 0,0110

Ces différences se partagent en deux groupes : les premières, relatives au premier et troisième maximum et au premier et troisième minimum, sont très petites et égales, en moyenne, à 0,012 (année). Les secondes, relatives au deuxième maximum et au deuxième minimum, s'élèvent à 0,038 (année); ce maximum et ce minimum sont, du reste, plus difficiles à mettre en évidence, à cause des anomalies produites par la chaleur de l'été et les courants d'air verticaux ascendants ou descendants. Ce tableau des différences suggère deux réflexions importantes.

L'intervalle qui sépare le deuxième minimum et le deuxième maximum anémométriques du maximum et du minimum barométriques correspondants est plus grand que pour les autres maxima et minima. Est-ce là l'expression d'un fait réel ou bien, quand on possédera une plus longue série d'observations, tous ces écarts deviendront-ils égaux?

Le signe + de la quantité A-B est-il le résultat d'une coïncidence fortuite ou exprime-t-il une loi naturelle qui dirait que les maxima et minima barométriques précèdent toujours de quelques journées les minima et les maxima anémométriques? Pour décider entre ces deux alternatives, il faudra certainement une série d'observations beaucoup plus longue que celle que nous possédons aujourd'hui.

Les valeurs normales de la vitesse du vent que j'ai calculées pour chaque jour de l'année représentent la moyenne vraie des vingt-quatre heures. Les courbes de l'anémomètre enregistreur donnent tous les éléments nécessaires pour réduire à cette moyenne vraie les observations faites à une heure quelconque de la journée. Par exemple, j'ai calculé la formule générale qui donne la quantité qu'il faut ajouter à la moyenne vraie des vingt-quatre heures pour obtenir la valeur normale du vent à 9 heures du soir. Nous pouvons déterminer par le même moyen la vitesse normale du vent pour une heure quelconque.

Une discussion très importante est celle des variations de la vitesse du vent. Pour la traiter convenablement, j'ai pris, pour chacune des 376 décades d'observations, la différence entre la vitesse observée et la vitesse normale correspondante, et j'ai calculé de même, pour chacune des 36 décades de chacune des onze années d'observation, la moyenne arithmétique des onze différences, sans tenir compte du signe. Les trente-six moyennes ainsi obtenues représentent exactement la variabilité de la vitesse du vent. En calculant ces différences au moyen de la formule de Bessel, on obtient ce résultat remarquable que la courbe annuelle des variations de la vitesse du vent est inverse de la courbe annuelle de la température. La variation moyenne du vent est donc moins grande dans les mois d'été, c'est-à-dire que les moyennes successives trouvées pour un même mois dans les différentes années sont plus rapprochées en été qu'en hiver; dans cette dernière saison, la variation de la moyenne est la plus grande.

En résumé, les conséquences les plus importantes que l'on peut déduire de la discussion de la marche annuelle de la vitesse du vent sont les deux suivantes :

Les périodes barométriques annuelles correspondent inversement aux périodes anémométriques annuelles. Il est naturel, en effet, que l'air soit d'autant moins pesant qu'il se meut avec une plus grande vitesse; toutefois, il faut envisager la question à un point de vue plus élevé et d'une manière plus complexe. Par suite des conditions topographiques de Modène, les vents les plus rapides viennent de la mer; ce sont des vents d'Est amenant de l'air humide. Les vents les moins rapides, au contraire, sont les vents d'Ouest, qui viennent du continent et apportent de l'air sec. Le problème prend donc un aspect plus difficile et moins simple, puisque, par suite d'une cause inconnue qui paraît périodique, les vents de la région de l'Est soufflent à trois époques différentes de l'année, et que, de même, le régime des vents d'Ouest s'établit également trois fois.

La pression atmosphérique et la vitesse du vent ont encore ceci de commun, dans leur marche annuelle, qu'elles sont toutes deux représentées par une courbe à trois maxima et trois minima et que leurs deux courbes d'écarts moyens n'ont qu'un maximum et un minimum et sont exactement inverses de la courbe de la marche annuelle de la température.

Annexe n° 9.

MÉTÉOROLOGIE DES HAUTES RÉGIONS DE L'ATMOSPHÈRE.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS FAITES

DANS LE COURS DE VINGT-DEUX ASCENSIONS AÉROSTATIQUES,

PAR M. GASTON TISSANDIER[1].

Tous les météorologistes s'accordent à reconnaître que les observations faites dans les régions élevées de l'air sont de nature à fournir des éléments d'une haute importance en faveur des progrès de la science du temps; aussi a-t-on vu dans tous les pays civilisés les efforts des savants se porter sur l'érection d'observatoires au sommet de montagnes plus ou moins élevées.

Le météorologiste, installé en permanence au sommet d'un pic, peut entreprendre une série d'observations continues, et tous les hommes compétents sont d'accord sur l'utilité des stations de montagne pour l'étude des phénomènes aériens.

Mais, à côté de ces observatoires, la science dispose en outre, pour étudier les hautes régions de l'air, des ressources que lui fournissent les aérostats, et que des catastrophes récentes ne devraient pas faire négliger. Les ballons nous donnent le moyen d'apporter à la météorologie des observations précises sur les régions élevées de l'atmosphère où des montagnes n'exercent aucune influence; ils permettent au savant de suivre pendant un temps plus ou moins long les courants aériens qui se meuvent au sein de l'air et de pénétrer dans des régions beaucoup plus élevées que celles où sont situées les stations de montagne construites aux plus grandes altitudes.

Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire d'insister sur l'importance de l'aérostation scientifique: elle est incontestable; mais il nous semble d'ailleurs que le meilleur moyen de plaider la cause des ascensions météorologiques en ballon est d'énoncer succinctement le résumé des faits qui ont été recueillis pendant un certain nombre de voyages aériens. Le lecteur voudra bien tenir compte des difficultés matérielles qui entravent de semblables expéditions, quand, pour la plupart, elles ont été le fruit de l'initiative privée, et s'il rencontre dans les pages qui suivent quelques observations qui lui paraissent dignes d'intérêt, il se rendra compte de l'importance de celles que pourraient recueillir des observateurs consciencieux et dévoués à la science, s'ils avaient à leur disposition de plus importantes ressources.

(1) La plupart de ces ascensions ont été faites avec mon frère, M. Albert Tissandier, qui a retracé à l'aide du crayon les innombrables spectacles aériens observés, effets de nuages, phénomènes lumineux, etc. Quelques-unes d'entre elles ont été exécutées sous les auspices de l'Académie des sciences, de l'Association scientifique de France, de l'Association française pour l'avancement des sciences, de la Société de navigation aérienne et avec le concours de plusieurs savants. A tous ceux qui nous ont aidés, nous adressons le témoignage de nos remerciements les plus sincères.

VITESSE DES COURANTS AÉRIENS, SA VARIATION AVEC L'ALTITUDE. — INFLUENCE DES DÉPRESSIONS DU SOL SUR LE VENT.

Le ballon est le plus exact des anémomètres : non seulement il donne la vitesse exacte du courant aérien où il est plongé, mais il indique avec précision la route que ce courant a suivie au-dessus du sol, et qui est précisément celle de l'aérostat lui-même.

Les vents superficiels qui soufflent à la surface de la terre ne donnent souvent à l'observateur que des renseignements très incomplets sur le courant général et dominant qui s'étend dans les hautes régions et quelquefois au-dessus d'un épais massif de nuages.

Dans notre voyage du 7 février 1869, tandis que le vent à terre était très modéré, M. de Fonvielle et moi, nous avons été entraînés au-dessus des nuages par un courant S. O. très chaud qui nous a emportés avec une vitesse considérable de 150 kilomètres environ à l'heure et qui nous a transportés dans l'espace de trente-cinq minutes de Paris à Neuilly-Saint-Front, au delà de Château-Thierry.

Quelquefois une légère brise souffle à terre et le vent est tout à fait nul dans les régions plus élevées de l'atmosphère. Lors de notre voyage du 11 avril de la même année, nous sommes restés en ballon, de 1,500 mètres à 2,000 mètres d'altitude, exactement au-dessus de notre point de départ, dans une situation d'immobilité absolue pendant plus d'une heure consécutive.

Généralement le vent augmente de vitesse à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère. Cette règle est presque générale. Elle est mise en évidence par les ascensions à grande hauteur, pendant lesquelles le ballon parcourt des chemins considérables dès qu'il a atteint les hautes régions.

Le vent suit horizontalement les dépressions terrestres jusqu'à une hauteur que nos observations successives nous permettent d'estimer à 600 ou 800 mètres environ.

Le diagramme que nous avons tracé de l'ascension de longue durée du ballon *le Zénith*, les 23, 24 mars 1875 montre en effet que l'aérostat suivait à plusieurs reprises les proéminences du sol et s'élevait de lui-même par un vent ascendant quand il passait au-dessus d'une colline. Ce fait est surtout rendu manifeste par son passage à 600 mètres au-dessus de plusieurs monticules. L'aérostat s'est en outre fréquemment éloigné de la ligne droite. La vitesse du vent pendant ce voyage, le plus long comme durée qui ait jamais été exécuté, a, de plus, subi des variations très appréciables, comme le montre le tableau ci-joint, que nous empruntons au rapport que nous avons publié dans le bulletin *l'Aéronaute,* Crocé-Spinelli, Sivel, A. Tissandier, M. Jobert et moi.

HEURES.	ALTITUDES.	DIRECTION DU VENT.	VITESSE par seconde.	TEMPÉRATURE À TERRE.
7h 00m soir....	700m	N.E................	7m70	Au-dessous de zéro.
11 20 soir....	750	N. 1/4 N. E...........	6 80	"
1 00 matin..	1,000	....	5 80	"
2 40 matin..	900	Entre N. N. E. et N. E...	6 00	"
3 45 matin..	950	....	7 70	"
4 00 matin..	1,000	N. 1/4 N. E...........	7 40	"
5 20 matin..	1,000	N. N. E.............	12 00	— 3°
7 00 matin..	1,700	Entre N. N. E. et N. E...	5 90	— 2
9 30 matin..	750	....	8 25	+ 4
10 30 matin..	650	....	6 66	+ 8

A partir de 11 heures, le courant N. N. E. supérieur possédait une vitesse de 3 à 4 mètres par seconde, tandis que le courant inférieur N. O., dont l'épaisseur varie de 600 mètres à 200 mètres, possède d'abord une vitesse de 7 à 8 mètres à la seconde et atteint 12 mètres à la seconde à 5 heures du soir, à l'atterrissage.

Le tracé de notre voyage a mis encore en évidence des variations très appréciables dans la vitesse du vent, qui fait environ 5 mètres à la seconde pendant la nuit, 10 mètres au lever du soleil et qui diminue de vitesse dans les hautes régions, contrairement à ce qui a lieu habituellement, comme nous l'avons dit précédemment.

COURANTS AÉRIENS SUPERPOSÉS.

Il arrive fréquemment que les nuages suspendus dans l'atmosphère suivent des directions sensiblement différentes de celle du vent qui souffle à la surface de la terre, quelquefois diamétralement opposées. Plusieurs courants aériens distincts peuvent ainsi se trouver superposés dans l'atmosphère. Les voyages en ballon permettent de constater bien des faits de ce genre qui échappent aux observateurs terrestres.

Je vais donner quelques renseignements précis sur les remarquables conditions atmosphériques que j'ai observées le 16 août 1668, lors de mon ascension faite avec M. Duruof au-dessus du détroit du Pas-de-Calais.

Deux courants aériens bien distincts étaient superposés dans l'air. Le courant inférieur régnait de la surface de la terre et de la mer jusqu'à l'altitude de 600 mètres. Il avait une température de 13 degrés centigrades. Il se dirigeait du N. E. vers le S. O. A sa partie supérieure, des nuages floconneux et blancs, isolés les uns des autres par de petits intervalles, étaient réunis sur un même plan horizontal en nombre considérable. Ils flottaient à la surface supérieure du courant aérien, en suivant la même direction. Ces cumulus étaient arrondis et mamelonnés; leur épaisseur était faible et ne dépassait pas une dizaine de mètres. La surface supérieure de ces nuages était unie et située exactement sur le même plan. Il est probable qu'ils étaient arrêtés ou dissous par le courant supérieur, qui glissait au-dessus dans une direction sensiblement opposée du S. O. au N. E. Par un singulier effet de perspective, cette succession de mamelons de vapeur, considérée à l'altitude de 1,600 mètres, semblait prendre naissance d'un côté de l'horizon pour disparaître de l'autre; ils étaient entraînés par le courant inférieur, qui se mouvait avec une vitesse de 48 à 50 kilomètres à l'heure : aussi les voyions-nous courir avec une rapidité considérable, puisque nous nous mouvions nous-mêmes au sein du courant supérieur avec une vitesse de 32 à 36 kilomètres à l'heure.

Nous avons constaté la présence du courant supérieur jusqu'à l'altitude de 1,700 mètres, point culminant de notre ascension. La température était de 15 degrés. A cette hauteur, nous apercevions d'autres nuages qui paraissaient suspendus à quelques centaines de mètres au-dessus de nos têtes : ils formaient probablement la limite supérieure du second courant aérien et étaient peut-être surmontés d'un troisième courant, mais il ne nous est pas permis d'émettre à cet égard autre chose que des conjectures.

Les courants aériens superposés ne sont pas toujours séparés par une couche de nuages, comme nous l'avons constaté lors de notre ascension de Calais. Il arrive même très fréquemment que rien ne peut en indiquer l'existence aux observateurs à la surface de la terre. Voici les faits que nous avons recueillis au sujet de courants superposés se mouvant dans des directions inverses au sein d'une atmosphère dépourvue de nuages.

27 juin 1869, ascension dans le ballon le Pôle-Nord, *exécutée au Champ de Mars, à Paris.* — De la surface de la terre à l'altitude de 2,850 mètres, le vent est N. N. E.; au-dessus de cette hauteur, le ballon est saisi par un courant S. S. O. Aucun signe apparent n'indique le point de séparation de ces deux courants. Notre brusque changement de direction seul nous en fait reconnaître l'existence.

8 novembre 1870, ascension du ballon le Jean-Bart; *tentative de retour dans Paris assiégé.* — Au-dessus de la forêt de Rouvray, près de Rouen, à 6^h30^m du soir, de 0 mètre à 200 mètres, vent superficiel du Nord. Au-dessus jusqu'à 3,200 mètres vent E. N. E. et un peu plus tard N. E.

4 octobre 1873, ascension exécutée à midi 3 minutes de l'usine à gaz de la Villette, Paris. — Au moment du départ, le vent est O. N. O., tandis que vers l'altitude de 700 mètres le courant supérieur est S. O. Les observateurs à terre nous ont vus décrire une courbe très prononcée, comme l'indique le tracé de notre voyage. Il n'y avait pas de nuages dans l'atmosphère. La descente s'est effectuée à Crouy-sur-Ourcq. En nous rapprochant de terre, nous avons été repris par le courant inférieur qui nous a ramenés sur notre route, comme au moment du départ. Les vitesses de ces deux courants superposés étaient très différentes. Le courant supérieur avait une vitesse de 35 kilomètres à l'heure. La vitesse du courant inférieur n'était que de 6 à 7 kilomètres, ainsi que M. Paul Henry, qui nous accompagnait, a pu le constater très exactement en observant la différence des temps du passage du ballon sur une ligne terrestre. La vitesse du courant supérieur a été obtenue exactement, connaissant la durée de notre voyage et la longueur du chemin parcouru.

24 mars 1875, ascension de longue durée du ballon le Zénith. — Le 24 à midi, après avoir traversé la Gironde près de son embouchure, le ballon plane au sein d'un courant N. N. E., tout près du bord de la mer. Ce courant règne depuis les hautes régions de l'atmosphère jusqu'à l'altitude de 500 mètres où le vent est N. O.; le courant inférieur est très humide, tandis que le courant supérieur est d'une sécheresse presque absolue, comme nous l'avons constaté, Crocé-Spinelli et moi, à l'aide de l'hygromètre à point de rosée. Il n'y avait aucun nuage, aucune vapeur entre les deux courants aériens, mais, contrairement à ce que j'avais observé précédemment, le passage de l'aérostat de la couche d'air supérieure dans la couche d'air inférieure fut signalé par des mouvements de rotation renouvelés et énergiques. Le ballon tourbillonnait, oscillait, tremblait, comme il ne le fait jamais quand il est bien équilibré au sein d'un courant aérien homogène. Il y avait incontestablement ce jour-là, entre les deux courants, des remous, des sortes de vagues aériennes dont l'aérostat subissait l'influence; il y avait entre les deux courants des mouvements de fluides analogues à ceux qui existeraient à la surface inférieure d'une couche d'huile glissant sur une nappe d'eau. J'ajouterai que le courant inférieur a été en diminuant d'épaisseur jusqu'à la fin du jour, où il n'avait plus qu'une hauteur de 150 mètres. En même temps qu'il diminuait ainsi d'épaisseur, il augmentait très sensiblement de vitesse. Le courant supérieur N. N. E., dont l'existence échappait ainsi aux observateurs terrestres, continuait à régner uniformément. C'était le courant dominant et général.

Si, comme nous venons de le voir dans ces faits, les courants de directions et de propriétés différentes peuvent être superposés dans l'atmosphère sans que des nuages les séparent, la présence de nuages au sein de l'air n'implique pas non plus l'existence de deux courants différents. Presque toujours les bancs de nuages sont suspendus à la limite de séparation de deux courants; mais cela n'est pas absolument général, et nous avons quelquefois suivi exactement la même direction au-dessus des nuages comme au-dessous. Ajoutons que quelquefois la route suivie par l'aérostat à des hauteurs différentes peut varier faiblement de direction sans que l'on puisse le constater, si l'angle formé par les directions différentes est très faible.

NUAGES, LEUR ASPECT, LEUR COULEUR, LEUR HAUTEUR DANS L'ATMOSPHÈRE.

Les nuages au milieu desquels l'aéronaute peut se trouver plongé offrent des aspects très variés. Pendant mon voyage de Calais (16 août 1868), je me suis trouvé plongé

dans des nuages tellement épais qu'ils interceptaient presque complètement la lumière solaire. Nous nous trouvions plongés dans des vapeurs d'un gris sombre tellement denses, que la vue de l'aérostat avait complètement disparu. C'est à peine si je pouvais apercevoir mon compagnon de voyage, M. Duruof, placé cependant tout à côté de moi. Cette vapeur d'eau était sèche et ne se condensait nullement en eau. Sa température était de 14 degrés.

Les cumulus sont souvent d'un blanc éblouissant, même quand on se trouve plongé dans leur masse. On est parfois environné d'une vapeur blanche opaline qui paraît être lumineuse, et sa présence n'empêche pas de distinguer nettement les objets voisins.

Les nuages de pluie sont formés d'une vapeur analogue à celle de nos brouillards terrestres.

Les cirrus et les nuages de glace offrent un aspect tout particulier, dont nous réservons la description pour un des chapitres suivants.

Les nuages forment souvent, au-dessus de la surface terrestre, de véritables bancs de vapeur dont la surface supérieure présente des aspects des plus variés. Cette surface est tantôt mamelonnée comme une mer de glace : elle est alors tout à fait blanche, avec des éclats argentés quand la lumière du soleil s'y réfléchit. Les mamelons, qui y forment des proéminences plus ou moins considérables, y jettent des ombres tout à fait noires qui leur donnent un relief extraordinaire. Ces masses de nuages, ainsi vues de haut en bas, prennent l'apparence de masses solides semblables à d'immenses amas de neige. Les effets de coucher de soleil sont admirables au-dessus de ces océans nuageux; les couleurs les plus vives s'y observent comme dans les pays tropicaux, et les massifs de vapeur se colorent en rouge éclatant, en violet et prennent quelquefois l'apparence de l'or ou de la pourpre.

Les nappes de vapeur forment parfois aussi de grands plateaux unis qui, vus d'en haut, ressemblent à des lacs à l'eau tranquille.

Quand l'aéronaute plane au milieu d'un amas de vapeurs semi-transparentes, il se croit situé au centre d'un véritable cirque de nuages qui paraît se déplacer avec lui. Pendant une notable partie de notre voyage du 13 septembre 1868, nous planions au milieu d'un semblable cirque de nuages, ayant un diamètre apparent d'au moins 150 degrés de valeur angulaire. Ce cercle, très régulier, très homogène, un peu plus foncé du côté de l'Orient que du côté opposé, produisait un spectacle saisissant. Le ciel était très pur, surtout dans le voisinage du zénith, et la terre ne cessait pas d'être entrevue au-dessous de la nacelle, même au moment où l'aérostat est parvenu au maximum de sa hauteur, à 2,850 mètres. Cet effet de cirque de vapeurs est probablement dû à la transparence de certains nuages qui ne se laissent entrevoir que sous une certaine épaisseur; il se présente aussi pour les cirrus, comme nous le verrons dans la suite. Vus dans la verticale sous une faible épaisseur, ces nuages sont transparents; mais, considérés sous une grande épaisseur et horizontalement, ils sont opaques; ils s'aperçoivent à une certaine distance de l'œil; ils produisent ainsi l'aspect d'un cercle tout autour de l'observateur.

La hauteur à laquelle les nuages se trouvent suspendus au-dessus de la surface terrestre est très variable. Nous avons rencontré, le 22 septembre 1874, un épais massif de nuages qui s'étendait au-dessus de la terre, à partir de l'altitude de 150 mètres. Sa surface supérieure se terminait à 600 mètres. Au-dessus, le ciel était d'un bleu très intense. Les cumulus blancs sont très souvent suspendus à des altitudes variant de 1,500 à 2,000 mètres. Souvent, au-dessus d'un amas de nuages, on en trouve un autre à un étage supérieur, et quelquefois plusieurs bancs de nuages peuvent se trouver ainsi successivement échelonnés dans l'atmosphère. Les cirrus ne se rencontrent qu'à des niveaux très élevés; il est rare d'en rencontrer avant 5,000 ou 6,000 mètres. Dans l'ascension à grande hauteur du *Zénith*, il y avait, à 8,000 mètres, un banc de

cirrus très abondant, et l'on apercevait encore d'autres légers amas de nuages semblables, à des altitudes supérieures. Nous avons donné dans un diagramme le résumé de nos observations sur l'altitude des nuages. Nous y avons indiqué même les nuages que nous n'avons pas observés de près, mais dont nous avons constaté l'existence et l'altitude approximative à des niveaux supérieurs. Tous les autres ont été traversés pendant l'ascension. Nos observations portent sur vingt-deux ascensions exécutées depuis le niveau de la mer jusqu'à l'altitude de 8,600 mètres, point le plus élevé qui ait été atteint par des aéronautes français. Dans le tableau dont nous parlons, les courants aériens sont indiqués par des flèches; ces courants avaient des directions variables avec l'altitude. Souvent plusieurs couches de nuages se trouvent échelonnées les unes au-dessus des autres dans l'atmosphère.

CRISTAUX ET AIGUILLES DE GLACE AÉRIENS. — CIRRUS.

Les halos solaires et lunaires et les phénomènes qui accompagnent ces météores ont, depuis longtemps, fait supposer aux physiciens que les hautes régions de notre atmosphère peuvent tenir en suspension des aiguilles de glace cristallisées, dont l'action sur les rayons lumineux est susceptible de fournir la cause de ces apparitions. Huyghens le premier, en essayant de rendre compte des halos, supposa qu'il se trouvait dans l'air des globules de glace entourés d'eau. Mais cette théorie, que nul fait connu n'accrédite, ne tarda pas à être abandonnée. C'est Mariotte, vers le milieu du XVIIIe siècle, et, un peu plus tard, Venturi, qui furent conduits à rechercher la cause des halos et des parhélies dans la présence, au sein de l'atmosphère, de prismes de glace à angles réfringents de 60 degrés. Cette théorie a été reprise par Brewster et par Arago, puis adoptée par tous les physiciens, parmi lesquels nous mentionnerons spécialement Fraunhofer, Young, Brandes, Brewster, Galle, Babinet et Bravais.

Quoique, d'autre part, les météorologistes aient admis depuis longtemps que les cirrus sont constitués par des aiguilles d'eau solidifiée, il reste bien des incertitudes à l'égard de ces nuages et des autres amas de cristaux de glace aériens.

Leur formation au sein de l'atmosphère n'exerce pas seulement son influence sur l'apparition de phénomènes lumineux, elle se traduit par des mouvements calorifiques considérables; elle doit jouer un rôle d'une haute importance dans le mécanisme aérien : leur étude offre donc un intérêt de premier ordre. Les aéronautes seuls jusqu'ici ont pu l'entreprendre directement et apporter à la météorologie, non pas le fruit de conceptions ou de théories plus ou moins ingénieuses, mais le résultat de faits incontestables et précis.

Avant de décrire les observations qui nous sont personnelles, nous croyons utile de rappeler succinctement les faits antérieurement signalés par nos prédécesseurs dans les études aériennes aéronautiques.

Le 27 juillet 1850, MM. Barral et Bixio, lors de leur ascension aérostatique devenue célèbre, traversèrent un nuage de glace à l'altitude de 6,000 mètres.

«Nous sommes couverts, disent les voyageurs, de petits flocons en aiguilles extrêmement fines, qui s'accumulent dans les plis de nos vêtements. Dans la période descendante de l'oscillation barométrique, par conséquent pendant le mouvement ascendant du ballon, le carnet ouvert devant nous les ramasse de telle façon qu'ils semblent tomber sur lui avec une sorte de crépitation.»

Le 17 août 1852, c'est-à-dire au milieu de l'été, comme dans l'ascension précédente, Welsh et Nicklin, partis de Londres en ballon, à $3^h 49^m$ du soir, rencontrèrent, à 3,000 mètres d'altitude, une neige formée de cristaux étoilés qui tomba de temps à autre sur le ballon.

Le dimanche 8 novembre 1868, mon frère et moi nous avons exécuté, à l'usine à

gaz de la Villette, une ascension aérostatique au moment où une neige abondante tombait à gros flocons; grâce à une abondante provision de lest, nous avons pu nous élever lentement jusqu'à l'altitude de 1,800 mètres au milieu de flocons de neige qui voltigeaient autour de la nacelle. A mesure que nous nous élevions dans l'atmosphère, les flocons diminuaient de volume; on les voyait s'accroître en tombant et grossir très sensiblement. A 2,100 mètres, maximum de hauteur que nous ayons pu atteindre, nous nous trouvions pour ainsi dire au lieu même de la production de la neige. L'air était translucide, et, tout autour de nous, nous apercevions de très petites paillettes de glace, d'un aspect brillant, irisées comme le mica, qui paraissaient se souder ensemble en tombant pour donner naissance, à un niveau inférieur, à des flocons volumineux. La température était de — 1 degré.

Le 16 février 1873, nous avons traversé, avec le ballon *le Jean-Bart*, un nuage d'une constitution toute particulière et qui rentre bien dans la classe de ceux que nous étudions actuellement. Il avait environ 390 mètres d'épaisseur et il était suspendu à 1,200 mètres seulement au-dessus de la surface terrestre. Au-dessus de ce nuage régnait un courant aérien qui se mouvait dans une direction sensiblement différente de celle de la couche d'air inférieure. Ce courant aérien était très chaud : la température y était de 17° 5. A $3^h 52^m$, nous pénétrons de haut en bas dans le massif de nuages. Des vapeurs blanches opalines cachent la vue de l'aérostat suspendu sur nos têtes, le thermomètre marque — 2 degrés et un givre abondant se dépose sur nos cordages; un fil de cuivre, long de 200 mètres, pendu à la nacelle, donne de vives étincelles, comme nous l'avons constaté, ainsi que nos compagnons de voyage, et, presque instantanément, il se couvre d'une couche épaisse de paillettes de glace d'un aspect adamantin; sans nous occuper ici du fait électrique, que nous examinerons plus loin, nous ajouterons que ces petits cristaux, sans tomber des vapeurs qui nous environnent, paraissent prendre spontanément naissance sur les parois de la nacelle, sur nos vêtements et jusque dans notre barbe.

D'autres observations fort intéressantes sont dues à mes regrettés amis Crocé-Spinelli et Sivel, ainsi qu'à MM. Pénaud, Pétard et Jobert. Partis de l'usine à gaz de la Villette, à $10^h 45^m$ du matin, le 26 avril 1873, dans le ballon *l'Étoile polaire*, les voyageurs ont traversé, entre 1,200 et 2,400 mètres, une série de nuages composés de petits cristaux prismatiques aiguillés d'environ 4 millimètres de longueur sur 25 millimètres d'épaisseur, généralement verticaux et donnant une image à bords frangés du soleil.

L'entrée dans ce nuage s'effectua à 1,300 mètres d'altitude, la température s'abaissa à — 7 degrés. Au delà, à 3,400 mètres, une zone d'air se rencontra, dont la température était de — 20 degrés, et l'air humide sortant des poumons produisait de petits cristaux microscopiques qui s'attachaient à la barbe et aux cheveux. La température à terre était de 4°,7; au-dessus de 1,500 mètres, elle était de — 4 degrés, et allait en s'abaissant régulièrement jusqu'à 4,500 mètres, où elle atteignait — 7 degrés.

Lors de leur remarquable ascension à grande hauteur, le 22 mars 1874, Crocé-Spinelli et Sivel ont décrit très complètement d'autres faits de même nature.

«Il faut signaler, disent les deux voyageurs, la présence de très légers amas de cristaux de glace très espacés, rencontrés pour une première fois, en montant, vers 5,000 mètres, et une seconde fois, en descendant, à la même altitude.

«Nous aperçûmes, en effet, chaque fois, pendant trois ou quatre minutes, et au-dessous du ballon, des cristaux aiguillés, distants les uns des autres de 20 à 40 centimètres, qui étincelaient vivement au soleil, à tel point que, malgré leur petitesse, ils semblaient très visibles à 100 mètres. Nous n'en vîmes ni au-dessus ni autour de nous. Il est certain que nous devions les traverser à la descente. Ajoutons que ces légers amas ne semblaient pas diminuer la netteté des lignes du sol.»

Crocé-Spinelli attachait une très grande importance à l'étude des nuages de glace. Aussi a-t-il toujours pris soin de décrire avec beaucoup d'exactitude ceux qui se sont offerts à son observation. Lors de la même ascension, il cite encore au-dessus de l'aérostat «de légers cirrus formant une nappe assez continue, à reflets plus ou moins nacrés ou soyeux et dont l'élévation semblait être de 9,000 à 10,000 mètres. Ces nuages, à travers lesquels la lumière se tamisait comme à travers un globe dépoli, ne cachèrent que presque complètement et pour très peu de temps le disque du soleil.»

Lors de l'ascension fatale du *Zénith* (15 avril 1875), j'ai pu apercevoir tout autour de la nacelle comme un vaste cirque de cirrus à l'altitude de 4,500 mètres. Ils allaient en augmentant d'épaisseur jusqu'à l'altitude de 8,000 mètres; ils prenaient alors l'aspect de masses d'un blanc d'argent tout à fait éblouissant. Cependant, à ce moment, le ciel était limpide et transparent pour les observateurs à la surface du sol, comme me l'ont prouvé plusieurs lettres reçues de quelques habitants du département du Loiret, au-dessus duquel l'aérostat planait au moment où il atteignait son maximum de hauteur, 8,600 mètres. Ces nuées, sans doute formées d'aiguilles de glace très espacées les unes des autres, étaient transparentes, vues de bas en haut sous une épaisseur relativement faible, et n'apparaissaient que pour l'aéronaute, qui, situé à leur niveau, les considérait horizontalement sous une épaisseur considérable.

De ces observations, encore peu nombreuses, vu le petit nombre d'ascensions exécutées à grande hauteur, il me semble que l'on peut déduire les résultats suivants:

La présence des cristaux de glace est très fréquente dans l'atmosphère.

Ces cristaux peuvent exister dans les hautes régions de l'air sans que la limpidité du ciel soit troublée, pour les observateurs terrestres; en d'autres termes, de véritables bancs d'aiguilles de glace peuvent être suspendus dans l'atmosphère sans être visibles à la surface du sol. L'aéronaute, comme je viens de le dire, les aperçoit de près, et surtout quand il les considère horizontalement sous une grande épaisseur. J'ajouterai que, dans les régions polaires, les voyageurs ont souvent vu tomber des cristaux glacés sous un ciel limpide et bleu [1].

La formation des aiguilles de glace dans les hautes régions de l'atmosphère ne peut se produire que sous l'influence de mouvements calorifiques considérables, qui ne sont pas sans agir sur les couches inférieures de l'air. On peut même admettre que ces nuages glacés ne sont pas étrangers aux manifestations électriques de notre atmosphère. Gay-Lussac, dans son ascension mémorable, a rapporté des expériences qui semblent démontrer que la tension électrique s'accroît continuellement à mesure que l'on s'élève. Or, pour se solidifier dans les hautes régions, la vapeur d'eau doit perdre une quantité de chaleur considérable; il est vraisemblable que cette déperdition de calorique se traduit par une abondante production d'électricité. Nous avons vu précédemment qu'un fil de cuivre fort long, plongé de haut en bas dans un nuage glacé, a donné de fortes étincelles électriques.

Les cristaux de glace des hautes régions peuvent être en outre considérés, dans certains cas, comme une des causes de formation de la neige ou de la grêle. A la limite supérieure des couches d'air traversées par la neige, nous avons vu tout à l'heure des paillettes extrêmement ténues s'agglomérer et former des flocons, toujours grossissant dans leur chute. Ces paillettes étaient, en tous points, comparables à celles des nuages glacés.

(1) La transformation subite de la vapeur d'eau en aiguilles glacées est, en effet, un phénomène qui s'observe à la surface du sol dans les régions boréales. L'explorateur autrichien M. Payer rapporte que, dans son dernier voyage, par un froid de 35 degrés, son haleine se condensait subitement en petits cristaux; ces aiguilles cristallines se formaient avec un bruissement particulier et brillaient vivement au soleil. Elle nous paraissent offrir des analogies frappantes avec les aiguilles de glace des hautes régions.

Si la petite aiguille de glace des hautes régions vient à descendre, à tomber dans un nuage de vapeur à — 2 degrés, semblable à celui que nous avons traversé et où des cristaux se formaient sur nos vêtements, sur la nacelle, ne pourra-t-elle pas y déterminer, comme le faisait l'aérostat, un ébranlement moléculaire et devenir le centre d'une congélation plus importante pour arriver à former le grêlon avec le concours de manifestations électriques particulières? Les faits bien constatés sont encore trop rares pour qu'il soit possible de présenter ces hypothèses autrement que sous une forme dubitative; mais, tels qu'ils sont, ils permettent d'affirmer que les nuages à glace ne sont pas étrangers à la plupart des phénomènes aériens, et qu'à ce titre ils sont dignes de fixer spécialement l'attention du météorologiste.

J'ajouterai que les amas d'aiguilles de glace espacées les unes des autres, et souvent invisibles à la surface du sol, diffèrent complètement des cirrus très apparents, qui affectent, comme on le sait, l'apparence de panaches ou de plumules. La brume opaline que nous avons observée le 16 février 1873, et où la vapeur d'eau, maintenue à une température inférieure à zéro, se solidifiait subitement sous l'action d'un ébranlement moléculaire, ne ressemble non plus en rien aux cumulus, aux nimbus et aux stratus. Il y aurait, à ce qu'il nous semble, à tenir compte de ces faits dans la classification des nuages.

FORMATION DE LA NEIGE.

Il m'a été donné de faire, dans le cours de deux ascensions aérostatiques, quelques observations intéressantes sur la formation de la neige. Le 8 novembre 1868, nous nous sommes élevés, mon frère, M. Mangin et moi, de l'usine de la Villette à 11 heures du matin, au moment où des flocons de neige tombaient très abondamment. A 2,000 mètres d'altitude, nous apercevions autour de nous de très petits cristaux qui s'agloméraient en tombant et qui paraissaient se souder entre eux à des niveaux inférieurs pour donner naissance à des flocons volumineux. La faible quantité de lest dont nous disposions ne nous a pas permis de dépasser sensiblement cette altitude de 2,000 mètres. A cette hauteur, les nuages de neige dans lesquels nous étions plongés semblaient avoir encore une épaisseur assez considérable, car on n'entrevoyait que faiblement la lumière du soleil.

Le 29 novembre 1875, il m'a été donné de rapporter des observations beaucoup plus complètes. A $11^h 40^m$, nous nous sommes élevés dans le ballon *l'Atmosphère,* avec mon frère, MM. Poitevin et L. Redier. La chute de légers cristaux de neige qui signala notre départ ne tarda pas à cesser. La température, jusqu'à 700 mètres, était de — 2 degrés. A cette altitude, le massif de nuages blanchâtres, opalins, s'étendait au-dessus de la surface terrestre sur une épaisseur de 800 mètres. En y pénétrant, nous vîmes la température s'abaisser et descendre à — 3 degrés, puis à — 4 degrés.

A 1,500 mètres, après avoir dépassé la surface supérieure de ce nuage, nous avons plané au milieu d'un véritable banc de cristaux de glace suspendu dans l'atmosphère sur une épaisseur de 150 mètres. La température du milieu ambiant était de zéro. Les cristaux qui voltigeaient autour de nous étaient transparents, très nettement formés d'étoiles hexagonales variées, de 4 millimètres de diamètre et du plus remarquable aspect. L'élévation de température était due sans doute à la formation même de ces cristaux, au dégagement de la chaleur produit par la solidification de la vapeur d'eau. Quant au fait de la suspension des paillettes de glace au sein de l'air, il peut s'expliquer par les mouvements de tourbillonnement dont elles étaient animées sous l'influence des rayons solaires réfléchis par la surface supérieure des nuages. Ces nuages étaient, en effet, d'un blanc éblouissant et offraient, à s'y méprendre, l'aspect de montagnes de neige. A 1,650 mètres, l'air était assez pur, et la température, jusqu'à 1,770 mètres, s'éleva encore pour atteindre 1 degré. Des cumulus s'étendaient à un

niveau plus élevé, et le ciel bleu s'entrevoyait à travers les intervalles qui les séparaient par moments. Quand le soleil était voilé, les cristaux de glace, bien moins éclairés, il est vrai, ne semblaient plus cependant être soumis aux mêmes mouvements tourbillonnants. Il est probable qu'ils tombaient alors au sein du nuage inférieur et arrivaient jusqu'à la surface du sol, où, comme nous l'avons constaté à la descente, ils étaient beaucoup plus gros, mais moins réguliers et comme recouverts d'un givre opaque qui leur donnait l'aspect d'un sel effleuri. Ces phénomènes successifs donneraient l'explication des chutes de neige intermittentes du 29 novembre 1875.

Pendant cette ascension, les couches atmosphériques supérieures et inférieures se mouvaient dans la direction du S. O. avec une vitesse de 41 kilomètres à l'heure.

Les deux massifs de nuages superposés avaient la même direction et sensiblement la même vitesse.

COMPOSITION DE L'AIR. DÉCROISSANCE DE LA QUANTITÉ D'ACIDE CARBONIQUE AVEC L'ALTITUDE. — POUSSIÈRES ATMOSPHÉRIQUES. — OZONE.

Le savant directeur de l'observatoire météorologique de Greenwich, notre maître et ami, M. J. Glaisher, a apporté à la science un nombre considérable de faits relativement à la décroissance de l'humidité avec l'altitude. Les résultats hygrométriques obtenus dans le cours de mes ascensions confirment ces résultats ainsi que ceux qui ont été obtenus en France par notre collègue M. C. Flammarion.

Je me suis attaché, lors des ascensions du *Zénith* exécutées avec Crocé-Spinelli, Sivel et mon frère, à déterminer la proportion d'acide carbonique contenue dans un volume d'air déterminé à différentes altitudes.

L'appareil habituellement employé pour doser l'acide carbonique au moyen des pesées ne peut pas être avantageusement employé en ballon. Nous avons eu recours à une disposition nouvelle, dont M. Hervé-Mangon nous a suggéré l'idée d'après le principe de la méthode de M. Regnault.

Notre appareil consiste en deux tubes cylindriques de verre, fermés à la lampe à leur partie inférieure et munis d'un bouchon à leur partie supérieure. Leur hauteur est de $0^m,38$, leur diamètre de $0^m,03$. Ces tubes sont remplis de pierre ponce lavée et calcinée, imbibée d'une solution de potasse caustique, précipitée par le chlorure de barium et parfaitement exempte d'acide carbonique. L'air extérieur, appelé à l'aide d'un aspirateur à retournement, était prélevé à 6 mètres au-dessous de la nacelle, à l'extrémité d'un mince tuyau formé par des tubes à gaz reliés à l'aide de caoutchouc. L'air traversait d'abord un tube en U, rempli de coton, destiné à arrêter les parcelles de sable servant de lest qui eussent pu contenir du carbonate de chaux; il arrivait à la partie inférieure du premier tube à potasse, qu'il traversait de bas en haut, et s'engageait de la même manière dans le second tube. En circulant dans ces deux tubes, l'air était complètement dépouillé d'acide carbonique. A la sortie de l'appareil, il passait dans un flacon témoin contenant une solution de baryte caustique, qui est restée limpide pendant toute la durée des expériences. L'aspirateur contenait 22 litres d'eau, additionnée d'un tiers d'alcool destiné à empêcher la congélation du liquide par le froid.

La première expérience a été commencée le 23 mars, à $8^h 45^m$ du soir, à l'altitude de 890 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elle a duré jusqu'à $10^h 7^m$. Dans cet espace de temps, nous avons fait passer dans nos premiers tubes 110 litres d'air, en retournant cinq fois l'aspirateur. L'aérostat est resté sensiblement sur l'horizontale; sa hauteur n'a varié que de 100 mètres environ.

La seconde expérience a été faite pendant la même ascension, le 24 mars, de $3^h 35^m$ à $4^h 30^m$ du matin. Pendant tout ce temps, l'aérostat a plané à l'altitude de 1,000 mètres. La pression barométrique est restée presque absolument constante. Par suite de

quelques dispositions à donner à l'appareil, nous n'avons pu faire passer dans nos seconds tubes que 66 litres d'air.

Après ces expériences, qui se sont exécutées dans les conditions les plus favorables, les tubes à potasse ont été rapportés à terre parfaitement intacts, grâce à un emballage minutieux.

M. Hervé-Mangon et moi nous avons déterminé la proportion d'acide carbonique qu'ils contenaient, en séparant le gaz de la façon suivante. Les tubes à pierre ponce potassique ont été munis à leur partie supérieure d'un entonnoir où l'on a versé, par portions successives, de l'acide sulfurique étendu d'eau, qui décomposait le carbonate de potasse formé. L'acide carbonique isolé était chassé à travers un tube à dégagement dans une longue éprouvette de verre graduée, remplie de mercure et retournée sur une cuve à mercure. On a chauffé l'appareil jusqu'à l'ébullition, afin de dégager les dernières traces de gaz. On a enfin mesuré le volume de l'acide carbonique recueilli dans le tube gradué, en l'absorbant par la potasse caustique. Les corrections de pression, de température, etc., ont été faites avec grand soin, et les lectures ont été exécutées à l'aide du cathétomètre. Voici les résultats de nos dosages :

ALTITUDE.	VOLUME D'ACIDE CARBONIQUE pour 10,000 d'air à zéro et à 760^{mm}.
800 à 890 mètres	2° 40
1,000 mètres	3 00

Cette différence de 2° 4 à 3 degrés est dans les limites de variation des expériences exécutées à terre.

On sait que la proportion d'acide carbonique existant dans un même volume d'air, à la surface du sol est en moyenne :

D'après	Thenard	4° 00
	Th. de Saussure	4 15
	M. Boussingault	4 00
	M. Truchot	4 09
	M. Schulze	2 90
	M. Henneberg	3 20

Au sommet du Puy-de-Dôme, à 1,446 mètres d'altitude, M. Truchot a trouvé, pour 10,000 d'air, un volume d'acide carbonique de 2.03.

Nos résultats semblent indiquer que la proportion d'acide carbonique existant dans l'air décroît avec l'altitude; mais, pour arriver à des conclusions certaines, il serait nécessaire d'exécuter des dosages à des hauteurs plus considérables. Nous espérons que ces expériences pourront être continuées, dans le cours d'ascensions postérieures.

Nous ajouterons que la méthode d'analyse employée par nous à bord du *Zénith* a été préalablement étudiée à la surface du sol, et que nous avons déterminé, par de nombreuses opérations préparatoires, les conditions de fonctionnement de l'appareil.

Un genre d'observations qui offrirait une haute importance est celle des poussières atmosphériques à différentes altitudes. J'ai essayé à plusieurs reprises de faire en ballon des déterminations de poussière, mais la poussière apportée accidentellement par le lest est toujours venue entraver mes expériences.

Certaines observations me permettent cependant d'affirmer que les poussières terrestres, tout au moins les plus ténues d'entre elles, doivent s'élever très haut dans l'atmosphère sous l'influence de courants ascendants. J'en citerai comme exemple un fil de la Vierge que j'ai vu flotter dans l'air à l'altitude de 1,800 mètres et qui était situé assez loin de nous pour que nous ayons la certitude absolue qu'il n'avait pas été transporté

dans ces régions par l'aérostat que nous montions. A côté de ce fil de la Vierge très apparent, il devait y avoir dans l'air une quantité de poussières beaucoup plus ténues, transportées à cette altitude de la même façon.

Outre ces observations, nous avons fait quelques expériences sur l'ozone de l'air. J'ai reconnu que l'ozone peut exister dans l'atmosphère à d'assez grandes hauteurs. Lors de l'ascension du 13 septembre 1868, des papiers ozonométriques ont bleui, à 3h 6m, à l'altitude 2,240 mètres. La moitié de ces papiers étaient imbibés d'une teinture de tournesol rouge très sensible qui n'a pas changé de nuance; l'action était due, par conséquent, à l'ozone de l'air, et non pas à l'ammoniaque qui aurait pu se trouver dans le gaz du ballon.

PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE. — AURÉOLES DE LUMIÈRE, HALOS, CROIX LUMINEUSES. — DÉFORMATION DU SOLEIL ET DE LA LUNE PAR LA RÉFRACTION. — MIRAGE.

Quand l'ombre de l'aérostat se projette sur la terre ou sur les nuages, elle est très fréquemment entourée d'une auréole de diffraction. Voici les phénomènes de ce genre que nous avons observés dans le cours de nos ascensions.

Voyage du 4 octobre 1873, ascension de 1,500 à 2,000 mètres. — Nous n'avons pas cessé de voir l'ombre du ballon sur la terre; à 1h 35m, à l'altitude de 700 mètres, cette ombre, projetée sur une prairie, est entourée d'une auréole très lumineuse et de couleur jaune : un remarquable dessin, fait d'après nature par M. Albert Tissandier, représente très nettement le phénomène.

Pendant le voyage que j'ai exécuté le 8 juin 1872, avec M. le contre-amiral Roussin, un autre phénomène d'optique, analogue au spectre d'Ulloa, s'est offert à nos yeux.

A 5h 35m du soir, l'aérostat avait dépassé les beaux cumulus blancs qui s'étendaient horizontalement dans l'atmosphère à 1,900 mètres d'altitude. Le soleil était ardent, et la dilatation du gaz déterminait notre ascension vers des régions plus élevées que je ne pouvais atteindre sans danger, n'ayant pour la descente qu'une faible provision de lest. Je donne quelques coups de soupape pour revenir à des niveaux inférieurs. A ce moment, nous planons au-dessus d'un vaste nuage : le soleil y projette l'ombre assez confuse de l'aérostat, qui nous apparaît entourée d'une auréole aux sept couleurs du spectre. A peine avons-nous le temps de considérer ce premier phénomène que nous descendons de 50 mètres environ. Nous passons alors tout à côté du cumulus qui s'étend près de notre nacelle et forme un écran d'une blancheur éclatante, dont la hauteur n'a certainement pas moins de 70 à 80 mètres.

L'ombre du ballon s'y découpe cette fois en une grande tache noire et s'y projette à peu près en vraie grandeur. Les moindres détails de la nacelle, l'ancre, les cordes sont dessinées avec la netteté des ombres chinoises. Nos silhouettes ressortent avec régularité sur le fond argenté du nuage : nous levons les bras, et nos sosies lèvent les bras. L'ombre de l'aérostat est entourée d'une auréole elliptique assez pâle, mais où les sept couleurs du spectre apparaissent visiblement en zones concentriques. La température était de 14 degrés centigrades environ, l'altitude de 1,900 mètres; le ciel était très pur et le soleil très vif. Le nuage sur la paroi verticale duquel l'apparition s'est produite avait un volume considérable et ressemblait à un immense bloc de neige en pleine lumière. Nous étions nous-mêmes plongés dans une nébulosité, car nous n'entrevoyions la terre que sous un brouillard indécis.

Lors de notre ascension du 16 février 1873, le phénomène de l'auréole aérostatique s'est présenté à nous dans des conditions très favorables à l'observation.

Dix minutes environ après notre départ, qui eut lieu à 11h 20m, nous avions déjà traversé les nuages; le ballon plane bientôt au-dessus d'un véritable océan de vapeurs

que les rayons solaires éclairent avec une intensité de lumière vraiment extraordinaire. Le ciel au-dessus de nos têtes est d'un bleu foncé. Il s'étend en dôme d'azur sur un véritable plateau de cumulus arrondis prenant l'aspect d'une mer de glace en pleine lumière.

Pendant trois heures consécutives, nous avons plané à 400 mètres environ au-dessus de cette couche de nuages, où l'ombre du ballon s'est constamment projetée, entourée d'auréoles d'un effet admirable. Nous avons observé trois aspects différents de ces effets d'optique. A l'altitude de 1,350 mètres, l'ombre du ballon n'avait pas d'auréole extérieure, celle-ci était seulement visible autour de la nacelle. A 1,700 mètres, l'ombre, plus petite, était encadrée d'un arc-en-ciel circulaire, formant comme un cadre irisé d'une forme elliptique. Enfin, au même niveau, nous avons vu plus tard trois auréoles concentriques parfaitement nettes se dessiner sur l'océan de nuages autour de notre ombre. Dans tous les cas, le violet était intérieur et le rouge extérieur, mais le bleu et l'orangé étaient beaucoup plus apparents que les autres couleurs du spectre.

La température était très élevée (le thermomètre a accusé jusqu'à 17 degrés 5 centigrades au-dessus de zéro), les rayons solaires étaient d'une ardeur extraordinaire et par moments nous brûlaient le visage. Nous avons maintenu l'aérostat pendant trois heures au-dessus des nuages; son altitude a varié de 1,400 à 2,000 mètres, hauteur maximum que nous avons atteinte.

Le phénomène des auréoles qui se présentent si fréquemment autour de l'ombre du ballon dans le cours des ascensions aérostatiques trouve son explication dans les faits décrits par les physiciens sur les franges irisées.

Un autre genre de phénomène d'optique, dû à la réfraction de la lumière à travers les cristaux de glace suspendus dans les hautes régions de l'atmosphère, a encore été observé par nous lors de l'ascension de longue durée exécutée dans la nacelle du ballon *le Zénith*. Nous voulons parler de halos et de croix de lumière autour de la lune.

Partis de l'usine à gaz de la Villette le 23 mars 1875, à 6h20m du soir, nous opérâmes notre descente le lendemain 24 mars, à 5 heures du soir, à Montplaisir, non loin du bassin d'Arcachon, après un séjour dans l'atmosphère de vingt-deux heures quarante minutes.

Pendant la nuit, la température se maintint au-dessous de zéro, entre 1 degré et 4 degrés 5 centigrades, l'aérostat oscillant entre 700 et 1,000 mètres. A terre, il gelait également et la température y était généralement inférieure. Une buée couvrait le sol sur une épaisseur de 500 à 600 mètres, et son opacité variait, sans toutefois nous cacher la vue du sol. Au-dessus de l'aérostat s'étendaient des cirrus; très faibles et très bas sur l'horizon au départ, ils s'élevèrent pour donner naissance, peu de temps après le lever du soleil, à un magnifique halo et à une croix. La lune s'entoura d'abord d'un petit cercle, puis la croix prit naissance. Une demi-heure après, une ellipse reliant les branches de cette croix vint compléter le phénomène. Le halo était dans tout son éclat au lever du soleil, qui se présenta à l'état fragmenté. L'ellipse disparut, et les branches de la croix plus persistantes s'évanouirent en diminuant peu à peu de longueur. Cette succession d'aspects dura environ une heure. Nous avons représenté les trois aspects les plus caractéristiques du phénomène. Les cirrus, très abondants jusqu'à 10 heures du matin, s'abaissèrent à l'horizon en donnant l'aspect d'une chaîne de montagnes aux pics neigeux. A midi ils avaient disparu, pour se montrer de nouveau à 4 heures. La présence de ces cirrus permet de supposer l'existence, dans les régions élevées, d'un courant aérien humide venant de la mer : nos observations postérieures ont confirmé cette conjecture.

Parmi les phénomènes d'optique que l'on observe fréquemment en ballon, nous mentionnerons encore les déformations du soleil et de la lune au moment du lever et du coucher de ces astres au-dessus de nappes de vapeurs. Pendant l'ascension de longue

durée du *Zénith*, nous avons constamment plané pendant la nuit au-dessus d'un véritable plateau de brume qui prenait l'aspect d'un vaste océan. Le 24 mars, à 5ʰ10ᵐ du matin, le soleil se levant au-dessus de cette masse de brume semblait étiré vers un de ses côtés. A 8 heures du soir, le 23, la lune se levant était encore sensiblement déformée par la réfraction des rayons lumineux.

Nous terminerons ce qui est relatif aux phénomènes d'optique particuliers que nous avons observés, en décrivant succinctement le singulier effet de mirage qui s'est offert à nos yeux lors de notre ascension au-dessus de la mer, près de Calais, le 16 août 1868. Du côté de l'Angleterre, le rivage était caché par un immense massif de nuages d'un gris sombre. Leur partie supérieure formait un véritable miroir où se réfléchissait l'image de l'Océan. L'image renversée d'un bateau à vapeur qui passait en mer fut aperçue dans cette nappe de brume. Le phénomène ne put être observé que pendant quelques minutes, le ciel s'étant bientôt obscurci autour de nous.

TEMPÉRATURE DES HAUTES RÉGIONS.

Nous n'insisterons pas sur cette question, au sujet de laquelle il a été publié précédemment un nombre considérable de documents. Les ascensions en montagne ou en ballon ont montré que les températures décroissent assez régulièrement avec l'altitude. Cependant, si le fait est général en considérant une masse d'air d'une très grande épaisseur, il arrive fréquemment que des couches d'air relativement chaudes se trouvent interposées dans l'atmosphère. En jetant les yeux sur le tableau que nous donnons ci-dessous, on verra que, dans un assez grand nombre de cas, les températures sont plus élevées à certains points de l'atmosphère qu'à des niveaux inférieurs. Nous avons la persuasion que, si l'on s'élevait au-dessus de ces zones particulières, la loi des décroissances des températures reprendrait ses droits; mais il n'en est pas moins très important de tenir compte des faits de la nature de ceux que nous signalons ici. Les chiffres suivants, que j'ai recueillis lors de l'ascension à grande hauteur du *Zénith*, sont intéressants à examiner sous ce rapport :

HEURES.	ALTITUDES.	TEMPÉRATURE.
11ʰ35ᵐ	A terre	+ 14°
	792 mètres	+ 8
11 40	1,267	+ 8
	3,200	+ 1
12 15	3,698	+ 2
	4,387	0
12 51	4,700	0
	5,210	— 5
1 25	5,600	— 5
	6,700	— 8
1 20	7,000	— 10
	7,400	— 11
	8,000	x

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Les faits électriques que nous avons pu recueillir pendant notre ascension de longue durée sont intéressants. Ils étaient obtenus en approchant un électroscope à feuille d'or

d'un fil de cuivre isolé, long de 200 mètres et pendant de la nacelle. En voici le tableau :

HEURES.	ALTITUDES.	TEMPÉRATURE à bord DES BALLONS.	DÉVIATION des FEUILLES D'OR.
De 10^h soir à $5^h 40^m$ matin.	Entre 650 et 1,100 mètres..	De 0° à 4° 5	Nulle.
$5^h 50^m$ matin.........	650 mètres...........	— 0° 3	1° 5
6 10..............	600...............	+ 0 5	4 0
6 15..............	600...............	0 0	7 0
7 00..............	1,700.............	+ 1 0	1 0
10 00..............	700...............	+ 9 0	6 0
De 11^h à 5^h soir........	De 30 à 1,200 mètres.....	De + 8° à + 10°	Nulle.

Les feuilles d'or de l'électroscope ne dévièrent pas pendant la nuit, mais elles s'écartèrent de 6 à 7 millimètres au lever du soleil. Puis l'électricité devint moins accusée jusqu'au passage que nous fîmes de la Gironde à son embouchure, à 700 mètres d'altitude environ. A ce moment, $10^h 15^m$, une déviation subite de 6 millimètres des feuilles d'or se manifesta avec une augmentation appréciable de température. Dans la suite du voyage, les déviations électriques devinrent très faibles et même nulles.

A $1^h 20^m$, à 1,400 mètres d'altitude, lors de notre ascension du 16 février 1873, nous avons dévidé un long fil de cuivre de 200 mètres de long que nous avons laissé pendre de l'aérostat; sa partie inférieure était terminée en pointe; sa partie supérieure, attachée à la nacelle et isolée dans un tube de caoutchouc, était terminée par une boule de cuivre. En approchant un électroscope de cette boule, les feuilles d'or se sont brusquement séparées l'une de l'autre; nous avons constaté, à l'aide d'un bâton de cire, que l'électricité ainsi manifestée était négative.

A $2^h 15^m$, l'aérostat, descendu à des niveaux inférieurs, ne tarde pas à sillonner la surface des nuages au-dessus desquels il avait longtemps plané. Le fil de cuivre plonge dans leur sein. Nous sommes à l'altitude de 1,350 mètres; j'approche mon doigt de la boule métallique : une étincelle jaillit, faisant entendre un bruissement énergique. L'intensité électrique était assez considérable pour faire éprouver à ceux des voyageurs qui nous accompagnaient, mon frère et moi, une violente commotion dans l'avant-bras quand ils approchaient la main pour recevoir la décharge. Ce phénomène s'est manifesté durant une demi-heure, pendant tout le temps que l'aérostat était plongé dans le nuage. Ce nuage était un nuage à glace d'une constitution toute particulière, dont on a lu précédemment la description.

Annexe n° 10.

SUR LA DÉTERMINATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR,

PAR M. E. RENON.

La détermination précise de tous les éléments de la météorologie est une nécessité qui s'impose aujourd'hui. Pendant longtemps on a fait des observations très imparfaites, et il en est malheureusement de même encore à présent dans la plupart des stations, même de celles qui devraient être les principales.

L'évaluation de la pression de l'atmosphère est aujourd'hui aussi parfaite que possible : nous sommes en possession d'instruments d'une grande précision ; j'ajoute même qu'une plus grande exactitude serait inutile. Comme le baromètre s'observe également bien dans toute situation, on n'attend plus aujourd'hui que des stations suffisamment nombreuses à la surface du globe et des séries suffisamment prolongées.

Mais pour la température de l'air, la question est bien moins avancée, quoique ce soit là l'élément le plus important. Nous possédons des thermomètres aussi exacts qu'on peut le désirer, ce qui ne suffit point du tout pour obtenir les températures vraies de l'atmosphère; un thermomètre exact peut donner de très mauvais résultats, suivant l'emplacement qu'on lui donne.

Dans la plupart des lieux d'observation, le thermomètre est placé au-devant d'une fenêtre; souvent, dans une grande ville, au milieu des rues, quelquefois dans des cours. On a supposé qu'on observait ainsi la température de l'air. On choisit alors une fenêtre au Nord d'un édifice, mais on est obligé quelquefois de placer l'instrument au N. N. E., au N. E. ou au N. O., selon les exigences de la position.

Sous le climat de Paris, au solstice d'été, un thermomètre appliqué à un mur exactement orienté, voit le soleil le matin, depuis 4 heures jusqu'à 7 heures et demie et autant le soir, c'est-à-dire pendant sept heures par jour, et pendant bien plus longtemps s'il en est éloigné de 30 ou 40 centimètres. Il résulte que les chiffres obtenus sont très défectueux le matin et le soir. Les abris sont impuissants, parce que c'est l'air ambiant qui s'échauffe au contact des murs. Il y a de plus, en général, des réflexions solaires, puis un effet produit par les maisons chauffées, surtout dans les grandes villes.

On atténue l'effet de l'air chauffé au contact des murs, en éloignant beaucoup les thermomètres, mais alors l'abri qui les garantit s'échauffe lui-même pendant une grande partie de la journée; c'est le cas des thermomètres de l'Observatoire de Paris, qui, de 7 heures à 9 heures du matin, en été, par un temps clair et calme, marquent souvent jusqu'à 3 ou 4 degrés trop haut. Si le thermomètre est au N. O., et seulement à 30 centimètres des murs, il reçoit le soleil, en été, dès 2 heures du soir, ce qui rend impossible la constatation des maxima, qui arrivent un peu tard, et donne des nombres beaucoup trop élevés toute la soirée, même lorsque le soleil est couché depuis une heure ou deux heures; c'était le cas où se trouvait Cotte à Montmorency.

Depuis longtemps on a placé les thermomètres dans des cabinets à persiennes de

petites dimensions. Si ce système réussit passablement en Angleterre, où il a été imaginé, je crois, à cause de la grande intensité du vent et de la faiblesse de l'insolation, il donne des résultats très fautifs dans les contrées où, au contraire, le ciel est souvent serein et calme, et la radiation solaire intense, comme dans tout le sud de l'Europe, en Algérie et en Égypte.

Dans les villes, surtout dans les grandes, on obtient, quoi qu'on fasse, des nombres exagérés, artificiels, bien plus élevés que ceux qu'on trouverait dans les campagnes environnantes.

La meilleure manière, jusqu'ici, de vérifier les chiffres obtenus dans les observations sédentaires, c'est d'employer le *thermomètre-fronde*, c'est-à-dire un thermomètre à mercure, léger, le plus effilé possible, qu'on tourne au bout d'un cordon de soie de 50 à 70 centimètres de longueur, en le plaçant dans un lieu bien découvert, exposé à tous les vents, sous une ombre peu étendue ou à la limite d'une grande ombre du côté du vent. Tourné en plein soleil, le thermomètre ne marque guère, dans la journée, que quelques dixièmes de degré au-dessus de la température de l'air; de cette manière on constate souvent une température moindre que celle donnée par un thermomètre à l'ombre, mais soumis à des réflexions intenses ou trop abrité.

Les observations à des fenêtres et dans des villes offrent un grand nombre de défauts, dont les plus saillants sont d'être variables d'un point à l'autre, souvent à quelques mètres de distance, jusqu'à être arbitraires entre de certaines limites; de rendre impossible le tracé des isothermes; de rendre impossible la détermination du degré de froid auquel gèle tel ou tel végétal; enfin de laisser sans réponse l'importante question de la variation séculaire des climats.

On a fait naturellement des objections à un changement apporté à des observations si faciles à faire. On a dit que c'étaient des observations pratiques, agricoles, etc., que les habitants des villes veulent connaître la température à laquelle ils sont soumis, et non pas celle qu'il fait en plein champ; que chaque lieu a sa température, qui varierait sensiblement d'un point à l'autre, même à une très petite distance.

Les observations faites dans les villes et à des fenêtres ont bien moins d'intérêt pratique que scientifique, car on n'y trouve rien de ce qui intéresse la culture des plantes; encore à présent, on ignore le degré auquel périssent un grand nombre de végétaux [1]. Dans ces séries d'observations faites à peu près et sommairement, il est impossible de voir pourquoi telle année a été bonne et telle autre mauvaise, pourquoi les fruits tels que les abricots réussissent parfaitement à Clermont et très mal à Paris, où la température est plus élevée, etc. etc.

Les habitants des villes n'ont rien à faire ni à voir dans la question qui nous occupe, ils ne parlent que de degrés sans fractions, et il suffit qu'ils sachent que la température dans la ville est plus élevée, selon les circonstances, de 1 ou 2 degrés que dans la campagne; que quand il fait des froids rigoureux on obtient dans les rues jusqu'à 10 degrés de plus qu'en plein champ.

Quant au tracé des isothermes, on trouve, si l'on cherche à utiliser les observations

[1] Quand les minima descendent à — 25 ou — 28 degrés aux environs de Paris, les thermomètres de l'intérieur de la ville offrent des erreurs énormes : aussi ignore-t-on absolument le degré de froid précis de tous les hivers célèbres. Le 9 décembre 1871, alors que le froid atteignait — 24° 4 à Aubervilliers, au nord de Paris, un thermomètre à minima placé chez moi, rue de l'École-de-Médecine, n° 2, dans une cour bien exposée au Nord, ne marquait que 14 degrés, ainsi 10° 5 de plus que la campagne au nord de Paris et au même niveau. Dans le célèbre hiver de 1740, Réaumur a eu dans une cour, à son domicile, au centre de Paris, — 10 degrés de son thermomètre, chiffre qu'on a eu la naïveté de citer souvent; la position de Réaumur, beaucoup plus défectueuse que la mienne, montre qu'il faisait, autour de Paris, — 25 degrés centigrades au moins.

actuelles, que Paris constitue une oasis de chaleur, et enfin que les lignes isothermes forment des sinuosités considérables, absolument imaginaires. Les meilleures observations sont constamment dans une oasis de froid. En général, partout où il y a un météorologiste sérieux, la température est plus basse, la pluie plus abondante, l'oscillation diurne du baromètre plus régulière et plus grande, l'humidité moindre, parce que dans l'observation de la température de l'air toutes les erreurs sont en plus, ainsi que dans l'humidité déterminée par le psychromètre. Dans le pluviomètre, elles sont toutes en moins. Les observations barométriques mal faites tendent à diminuer et à masquer l'oscillation diurne.

Cette croyance que chaque point a sa température est une erreur complète, qui ne repose que sur de mauvaises observations: chaque point a sa marche de la température, mais les moyennes sont les mêmes à très peu près; cela résulte, bien clairement, de toutes les observations que je fais depuis vingt-cinq ans.

Cette marche différente de la température diurne ou annuelle entre lieux voisins dépend des altitudes et surtout de la forme du sol. Aussi les comparaisons que l'on fait souvent des moyennes températures de deux lieux voisins au moyen d'un petit nombre d'observations faites par exemple à 9 heures du matin ou par les *minima* et *maxima* diurnes seuls sont-elles souvent tout à fait erronées.

Les températures semblent partout diminuer parce qu'on observe moins mal à mesure que le temps s'avance : d'où l'impossibilité d'apercevoir les changements séculaires des climats. Nous passons actuellement dans la plus grande partie de l'Europe par une période de chaleur et de sécheresse qui se traduit par l'abaissement des eaux courantes. Quoique la hauteur de pluie totale de l'année ne suffise pas pour donner le caractère à une année entière, il est très probable que la hauteur de pluie annuelle depuis 1857 est moindre que les moyennes générales ; mais comme les observations anciennes ont été fort mal faites, et que celles de Paris, de 1717 à 1754, sont de nulle valeur, ce fait ne peut s'apercevoir dans les chiffres publiés jusqu'ici.

On pourrait citer un certain nombre de séries météorologiques dans l'intérieur de Paris pour faire voir combien les chiffres obtenus sont variés.

Dans l'île Saint-Louis, au n° 14 de la rue Poultier, et dans un jardin, Delcros trouvait, du 1er avril 1839 au 31 mars 1840, une température de 11° 9 (moyenne vraie des vingt-quatre heures, série trihoraire), en même temps la moyenne des *minima* et *maxima* diurnes à l'Observatoire était de 10° 6 ; il y avait entre les moyennes vraies une différence de 0° 6 environ, due à la position moins avantageuse au centre de Paris.

M. Barral a fait, à son domicile, rue Notre-Dame-des-Champs, des observations pendant quelques années, de 1854 à 1859 ; le thermomètre, placé à une fenêtre, a donné des résultats peu différents de ceux de l'Observatoire; mais ayant placé son thermomètre sous un abri dans un jardin il a obtenu des résultats tout différents : les maxima, en 1859, d'avril à octobre, se sont trouvés de 3 à 4 degrés plus hauts qu'à l'Observatoire.

Une autre série plus récente a été entreprise par M. Lemaire, rue d'Enfer, 28, au quatrième étage, à l'exposition de l'Est, avec un thermomètre Six, de juin 1877 à mai 1878. Les différences avec l'Observatoire varient peu et ne s'éloignent pas beaucoup de 1° 3. Comme on trouve à Paris, pour moyenne, 10° 7, M. Lemaire trouverait pour un grand nombre d'années 12 degrés pour moyenne des minima et maxima diurnes.

Depuis plus de vingt ans, je fais des observations dans les campagnes autour de Paris : d'observations suivies, faites à Choisy-le-Roi, avec le thermomètre-fronde dans la campagne, il est résulté que la moyenne vraie de la contrée de Paris ne peut guère dépasser 9° 85. Or, de nos observations régulières, au parc de Saint-Maur, depuis plus de cinq ans, il résulte que cette moyenne doit être à peu près 9° 9, parce que

les dernières années ont relevé cette moyenne. Je crois donc que la moyenne séculaire de la contrée de Paris à l'altitude de 45 mètres est 9° 85.

Les différences si variées qu'on trouve dans Paris n'ont aucun intérêt ni scientifique ni pratique et ne sont que des erreurs dues à des causes artificielles.

J'ai fait d'ailleurs un grand nombre d'observations pour savoir si réellement dans des positions différentes on trouvait des différences notables et reconnaître comment varient ces différences.

Le terrain sur lequel je me suis établi au parc de Saint-Maur (11k 500m E. 15° S. de l'Observatoire de Paris), est à une altitude de 45 mètres; il est légèrement en pente vers le S. O. Dans l'Est, à 500 mètres, existe un terrain vague à l'altitude de 50 mètres: c'est le point culminant du parc. J'ai fait, pendant trois années, des observations trois fois par jour avec le thermomètre-fronde pour contrôler les chiffres obtenus avec le thermomètre sous l'abri double. Les observations se faisaient vers 6 heures du matin ou un peu plus tard en hiver, vers 2 heures du soir et à l'entrée de la nuit.

J'ai trouvé là des résultats très curieux. Voici les moyennes des trois différences diurnes pour chaque mois (parc, moins terrain vague).

MOIS.	ANNÉES				MOYENNES.
	1874.	1875.	1876.	1877.	
Décembre	″	— 0° 04	— 0° 16	— 0° 09	— 0° 10
Janvier	″	— 0 17	— 0 09	— 0 14	— 0 13
Février	″	— 0 19	0 03	0 01	— 0 05
Mars	0° 15	0 18	0 01	″	0 11
Avril	0 35	0 31	0 22	″	0 29
Mai	0 07	0 04	0 20	″	0 10
Juin	0 01	0 02	0 05	″	0 03
Juillet	— 0 19	0 00	— 0 05	″	— 0 08
Août	— 0 18	— 0 29	— 0 10	″	— 0 19
Septembre	— 0 29	— 0 27	— 0 28	″	— 0 28
Octobre	″	— 0 30	— 0 35	″	— 0 33
Novembre	— 0 09	— 0 07	— 0 16	″	— 0 11
Moyenne générale	″	″	″	″	— 0 06

Les trois années offrent une grande ressemblance; le résultat moyen est donc certain: il fait au parc, dans un jardin de 1,100 mètres, au mois d'avril, une température plus élevée de 0° 3 qu'en un terrain sans murs ni arbres, situé aux environs; à l'automne, on a un résultat pareil en sens contraire.

On trouve donc là l'explication d'un fait bien connu : c'est que les végétaux précoces sont bien plus avancés dans les jardins entourés de murs qu'en pleine campagne. J'avais cru pendant longtemps que ce fait incontestable prouvait que l'intérieur des jardins murés avait une température moyenne annuelle plus élevée que la pleine campagne. On voit qu'il s'établit une compensation à l'arrière-saison, à une époque où la température n'a plus aucune influence sur les produits de la terre arrivés à maturité et pour la plupart récoltés.

On tire encore de ces chiffres plusieurs enseignements importants. Si l'on se bornait à faire quelques expériences en été et en hiver on trouverait dans les deux stations un accord presque parfait, et le fait si intéressant des différences au printemps et à l'automne passerait inaperçu ainsi que l'application qui en découle pour la maturité des

fruits de la terre. Il paraît aussi qu'il fait un peu plus froid en moyenne dans le jardin qu'en terrain vague, mais la faible différence de 0° 06 est trop petite, quoique constante, pour qu'on la regarde comme sûre. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'au bout de l'année les moyennes sont sensiblement les mêmes.

Un éminent botaniste et horticulteur, M. Lavallée, fait faire depuis quelques années des observations météorologiques dans de bonnes conditions à son château de Segrez, commune de Saint-Sulpice-de-Favière, à 36 kilomètres S. S. O. de Paris. C'est un bas-fond relativement aux plateaux voisins, et à une altitude de 75 mètres environ, c'est-à-dire plus grande de 30 mètres que celle du parc. Les observations s'y font à 7 heures du matin, 2 heures et 7 heures du soir. Voici les moyennes mensuelles pour l'année civile 1876, simultanément pour Segrez et le parc de Saint-Maur :

MOIS.	SEGREZ.			PARC DE SAINT-MAUR.		
	7 h. matin.	2 h. soir.	7 h. soir.	7 h. matin.	2 h. soir.	7 h. soir.
Janvier	— 2° 8	2° 5	— 0° 8	— 2° 0	2° 4	— 0° 3
Février	1 6	6 9	4 2	1 9	6 7	4 6
Mars	4 3	10 1	6 0	4 8	9 6	6 7
Avril	6 8	15 5	9 3	7 2	14 8	11 1
Mai	9 2	17 3	11 8	9 0	16 1	13 1
Juin	14 2	21 7	17 1	14 2	20 6	18 1
Juillet	17 5	26 8	21 0	17 3	25 1	22 5
Août	16 5	25 8	18 9	16 2	24 6	20 4
Septembre	11 8	18 6	12 8	11 7	18 1	13 8
Octobre	10 6	16 3	11 8	10 5	15 7	12 4
Novembre	4 1	9 6	5 7	4 7	9 6	6 8
Décembre	5 7	8 8	6 6	6 2	8 8	7 2
MOYENNES	8 29	15 00	10 37	8 47	14 34	11 37
MOYENNES GÉNÉRALES	11° 22			11° 39		

Segrez est donc beaucoup plus continental que le parc, comme cela arrive à tous les bas-fonds. En été, les températures de 2 heures du soir y sont plus élevées de plus de 1° 5 qu'au parc; mais dès 7 heures du soir la différence devient contraire, de sorte que la chute de température de 2 heures à 7 heures du soir, qui est au parc de 2° 6 en juillet, est de 5°8 à Segrez. Les différences moyennes correspondent à la différence d'altitude. Néanmoins, Segrez devrait avoir une différence moindre à cause de sa position plus méridionale, et cette différence devrait être 0°1 d'après les isothermes théoriques. Il semble donc, ici encore, que les bas-fonds ont une température légèrement inférieure à celle des hauteurs environnantes, eu égard aux altitudes. Dans d'autres positions, j'ai cru remarquer depuis longtemps des différences dans le même sens. Cette question ne pourra être résolue que par des observations très précises et avec un nombre d'observations diurnes suffisantes pour donner dans chaque lieu une moyenne sans aucune correction.

Aux environs du parc de Saint-Maur, le terrain se relève un peu dans l'Ouest et, sur ces deux points culminants on a établi dans l'enceinte du bois de Vincennes, mais dans la partie découverte, un kiosque d'où l'on a une des plus belles vues des environs de Paris. Le sol y est à 72 mètres, ainsi 27 mètres plus haut qu'à mon observatoire. J'ai fait en ce lieu, depuis plusieurs années, un certain nombre d'observations

irrégulièrement distribuées dans toutes les saisons : le matin de bonne heure, vers 2 heures du soir et à l'entrée de la nuit : les résultats de 257 observations, jusqu'au 27 juin 1878, donnent les différences moyennes suivantes :

Matin	107	observations	— 0° 14
2 heures	96		0 84
Soir	54		— 0 28
Moyenne			0° 14

Il fait plus froid au parc qu'au kiosque le matin et surtout le soir; mais dans la journée le parc est beaucoup plus chaud. La différence moyenne 0° 14 est celle qui correspond à la différence d'altitude de 30 mètres. La comparaison de Segrez avec le kiosque par l'intermédiaire montre qu'au même niveau (75 et 72 mètres) les températures horaires sont très différentes suivant la forme du sol, Segrez étant un bas-fond et le kiosque un mamelon. A ce dernier point, les températures en été et vers 2 heures du soir, y sont de plus de *deux degrés et demi* moindres qu'à Segrez.

Les différences que je viens de signaler se rencontrent partout; la marche de la température dépend de la forme du sol; elles diffèrent souvent beaucoup à telle ou telle heure avec une localité voisine, mais les moyennes annuelles ne dépendent que de l'altitude. Aussi, toutes les sinuosités qu'on a cru devoir imposer aux isothermes sont imaginaires et ne dépendent que de l'imperfection des observations. Tout porte à croire qu'elles sont très simples du moins qu'elles n'ont que les grandes inflexions qu'elles doivent à la position relative des terres, des mers et aux grandes chaînes de montagnes.

M'étant occupé des variations horaires et locales de la température de l'air, j'ai dû chercher dans quel cas et dans quelle situation on avait les différences maxima.

Aux environs de Vendôme existe une vallée parcourue par un ruisseau nommé l'Houzée; le fond de cette vallée, occupé par des prairies souvent marécageuses, n'a guère que 100 mètres de largeur; elle est sinueuse et le bord des plateaux qui la dominent de 40 mètres est souvent assez rapide et en partie couvert de forêts. Cette vallée est une sorte d'actinomètre qui offre un climat spécial; j'y ai fait un certain nombre d'observations qui m'ont fourni des résultats curieux; les observations correspondantes étaient faites exactement aux mêmes instants par moi dans la vallée, et par M. Boutrais avec des thermomètres-fronde comparés ensemble et avec des montres réglées avant le départ.

C'est le soir des journées très chaudes de l'été que les différences sont le plus considérables.

Le 24 juillet 1857, nous avons fait huit observations simultanées de 2 minutes en 2 minutes, de 8h 15m à 8h 30m du soir; les moyennes de ces huit observations ont donné sur le plateau 25° 1, et dans la vallée 14°,9; il y avait donc la différence énorme de 10° 2.

Cette différence n'avait rien d'exceptionnel, car le 12 juillet 1859 nous avons trouvé 28° 3 et 18° 4 avec une différence de 9° 9, peu différente de la précédente. Ces différences n'ont lieu que par un ciel pur et calme.

Le 11 juillet 1868, nous avons trouvé à 8h 16m, 24° 4 et 18° 1 ; à 8h 22m, 23° 9 et 23° 2. Le ciel, beau au commencement, s'est rapidement couvert entre les deux observations avec un vent d'Est modéré. Ainsi, tandis que sur le plateau la température avait baissé de un demi-degré, elle avait au contraire remonté de 5° 1 dans la vallée.

Les minima de l'hiver sont beaucoup plus bas dans cette vallée que sur le plateau et même que dans le val du Loir presque au même niveau mais beaucoup plus large; les différences ne sont néanmoins jamais aussi grandes que dans les soirées d'été.

Le 20 janvier 1855, alors que je trouvais dans un jardin de la ville, mais dans une bonne situation, un minimum de — 13°, j'observais au lever du soleil, dans la vallée de l'Houzée, près du moulin d'Huchigny, — 18°; mon thermomètre-fronde posé sur la neige marquait — 23°.

Dans ces journées, où de si grandes différences s'observent entre le plateau et la vallée, les moyennes des vingt-quatre heures dans les deux stations diffèrent jusqu'à 3 degrés. Au bout de l'année, les moyennes doivent peu différer, parce que, si dans la vallée on ne trouve jamais de maxima dépassant de plus de 2 degrés ceux des plateaux, on trouve presque constamment un excès de température plus grand en bas que ne le comporte la différence d'altitude. Quand le froid est apporté par des vents de N.E., il fait notablement plus chaud dans la vallée, comme dans tous les lieux abrités, ainsi que chacun le sait.

Il résulte de tout ce que je viens d'exposer, qui n'est qu'un bien faible extrait de mes observations, que les observations faites à des fenêtres sont entièrement à rejeter; dans les grandes villes comme Paris, il est impossible de faire des observations de quelque valeur : on trouve dans la campagne une température bien moindre; néanmoins Paris diminue les oscillations de la température et les maxima sont habituellement plus élevés au parc de Saint-Maur qu'à l'Observatoire, dans la position actuelle des thermomètres.

Les thermomètres doivent être placés dans un lieu bien découvert sous un double abri et au-dessus d'un gazon qui a besoin d'être d'autant plus étendu que l'été de la station est plus chaud et partant l'insolation plus forte. Mais comme il est souvent difficile de placer le thermomètre comme on le voudrait, il est nécessaire de faire des vérifications nombreuses au thermomètre-fronde, et trois fois par jour, le matin, vers 2 heures du soir et à l'entrée de la nuit, dans un lieu bien découvert, en rase campagne. Sans cette précaution, aucun lieu d'observation n'est assuré de fournir des nombres exacts.

Annexe n° 11.

DES VARIATIONS NOCTURNES DE LA TEMPÉRATURE À DES ALTITUDES DIFFÉRENTES,

CONSTATÉES À L'OBSERVATOIRE DU PUY-DE-DÔME,

PAR M. ALLUARD,

DIRECTEUR FONDATEUR DE L'OBSERVATOIRE MÉTÉOROLOGIQUE DU PUY-DE-DÔME.

Tout le monde sait que la température s'abaisse à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère. De nombreux travaux ont été entrepris pour trouver la loi de ce décroissement, qui est variable avec l'époque de l'année, et variable aussi avec la latitude.

On sait aussi que, quelquefois, il fait plus chaud sur les montagnes que dans les vallées, et que cette interversion se présente surtout dans les hivers rigoureux. Aux exemples nombreux que M. Fournet a mis un soin tout particulier à nous raconter autrefois, nous pouvons en ajouter un autre assez récent. Le 31 décembre 1874, après un froid assez vif qui dura environ dix jours, un vent de S. O. succéda presque subitement, vers 8 heures du matin, à un vent de N. E., à l'altitude du sommet du Puy-de-Dôme : il se maintint pendant vingt-quatre heures à une hauteur de 1,000 mètres environ, fondant seulement les cimes neigeuses du Puy-de-Dôme, du Mont-Dore, du Forez et du Cantal, qui dépassaient cette hauteur, et mit ensuite douze heures pour atteindre le sol. Il ne se fit sentir à Clermont que le 1er janvier, vers 6 heures du soir.

Mais, ce qui est moins connu que ces interversions, c'est la marche comparative de la température pendant la nuit, en haut et au bas des montagnes.

Les résultats que nous avons l'honneur de vous communiquer sont mis en évidence par des tableaux. Sur des papiers quadrillés, nous avons tracé, pour chaque mois, depuis le 1er janvier 1878 : 1° les courbes des températures minima obtenues dans les deux stations de l'observatoire; 2° les courbes des températures maxima obtenues dans les mêmes circonstances; 3° les courbes des températures moyennes des deux stations déduites des maxima et des minima. Voici ces résultats :

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
2 janvier	— 8° 3	— 4° 4	3° 9
3	— 6 5	— 2 9	3 6
4	— 2 5	— 2 0	0 5
5	— 5 5	— 1 2	4 3
6	— 6 4	— 1 5	4 9
7	— 3 0	— 1 9	1 1
8	+ 2 1	— 3 7	+ 5 6

Ainsi, pendant six nuits de suite, du 2 au 7 janvier, les nuits ont été moins froides au sommet du Puy-de-Dôme qu'à Clermont.

Le 11, les minima ne diffèrent que de 1 degré : Clermont a — 10 degrés et le Puy-de-Dôme — 11 degrés; mais le 13, lorsqu'à Clermont, par un froid excessif pour notre climat, le thermomètre descend à — 19° 6, au Puy-de-Dôme, il s'arrête à — 14 degrés, c'est-à-dire à 5° 6 moins bas.

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
21 janvier	— 5° 8	— 3° 1	2° 7
22	— 3 7	— 3 7	0 0
28	— 8 6	— 3 3	5 3

L'interversion du 28 est la plus forte après celle du 13; elle monte à 5° 3.

Notons en passant, ce qui est assez rare, que le 2 janvier la température maximum fut au Puy-de-Dôme de + 2° 5, tandis qu'à Clermont elle ne s'éleva qu'à + 1° 3.

En résumé, le mois de janvier a présenté onze interversions des températures minima, dont six se suivent sans interruption depuis le 2 jusqu'au 7 de ce mois.

Au mois de février, elles sont plus nombreuses encore : il y en a quatorze, entre des limites de température moins étendues, entre — 10 degrés et + 5 degrés; sur ces 14, six sont consécutives du 6 au 11.

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
6 février	— 8° 0	— 3° 9	4° 1
7	— 7 6	— 3 3	4 3
8	— 4 2	+ 1 8	6 0
9	— 5 2	+ 1 6	6 8
10	— 5 2	— 2 5	2 7
11	— 3 8	— 1 2	2 6
17	— 0 8	+ 2 0	2 8
18	+ 2 0	+ 3 2	1 2
20	— 3 3	— 2 8	0 5
21	— 3 0	— 0 9	2 1
23	— 2 5	— 1 5	1 0
24	— 3 6	— 1 5	1 9
25	— 2 2	— 1 1	1 1
27	— 3 0	+ 2 5	5 5

Le 9 du même mois, la température maximum a été + 3° 5 à la station de la montagne, et 0° 4 seulement à la station de la plaine.

En mars, il n'y a que quatre interversions de température, aux dates des 2, 5, 10 et 22.

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
2 mars	+ 1° 8	+ 1° 9	0° 1
5	− 2 0	+ 2 7	4 7
10	− 3 6	− 3 7	0 1
22	− 4 0	− 1 8	2 2

En avril, trois interversions seulement.

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
7 avril	− 0° 2	+ 1° 2	1° 4
15	+ 3 2	+ 5 1	1 9
24	+ 0 4	+ 0 8	0 4

En mai, on remarque sept interversions, avec des températures toujours supérieures à zéro degré, comme dans les mois suivants :

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
9 mai	+ 4° 3	+ 4° 4	0° 1
10	4 2	5 9	1 7
12	6 9	7 2	0 3
17	6 3	6 6	0 3
18	9 7	11 0	1 3
23	1 4	3 1	1 7
31	4 0	4 0	0 0

En juin, il n'y a que deux interversions réelles :

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
21 juin	4° 3	4° 7	0° 4
24	9 6	10 9	1 3

Cinq autres fois les minima ne diffèrent que très peu :

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
8 juin	10° 8	10° 0	0° 8
22	10 0	8 8	1 2
26	10 8	11 0	0 2
27	11 8	11 5	0 3
28	11 2	11 0	0 2

Le mois de juillet donne huit interversions, qui sont les suivantes :

DATES.	TEMPÉRATURES MINIMA.		
	CLERMONT.	PUY-DE-DÔME.	DIFFÉRENCES.
1er juillet	6° 0	7° 0	1° 0
5	3 8	4 7	0 9
6	6 2	6 7	0 5
14	11 2	11 1	0 1
15	7 8	9 6	1 8
17	6 0	8 7	2 7
18	8 6	12 3	3 7
19	10 2	14 1	3 9
20	12 7	14 0	1 3

Cinq sont consécutives du 15 au 20; encore peut-on y joindre l'observation du 14. Le mois d'août présente aussi les mêmes anomalies.

En résumé, pendant les sept premiers mois de l'année 1878, nous avons eu 49 interversions de température, ainsi réparties : 11 en janvier, 14 en février, 4 en mars, 3 en avril, 7 en mai, 2 en juin et 8 en juillet, ce qui fait 7 en moyenne par mois, sans compter les cas où les deux minima sont presque égaux.

Lorsqu'on jette les yeux sur les tableaux ci-dessus, on remarque d'abord que les courbes comparatives des températures minima se coupent fréquemment en été comme en hiver, ce qui est la traduction graphique des résultats que nous venons d'exposer, de sorte que souvent, pendant la nuit, il fait moins froid au sommet du Puy-de-Dôme qu'à Clermont, les différences dépassant quelquefois 5 degrés. Ce qui frappe ensuite, c'est que les courbes des températures maxima n'offrent rien de semblable; ordinairement elles sont presque parallèles.

La conséquence à déduire de là, c'est que, *pendant la nuit, la température varie, avec l'altitude, tout autrement que pendant le jour.*

Quelle est la cause de ces phénomènes? Nos observations sont encore trop peu nombreuses pour essayer des explications. Assurément, l'inversion se produit souvent quand les vents sont en sens contraire ou différents en haut et en bas, mais elle a lieu aussi quand ils soufflent dans la même direction. Elle n'est pas due non plus à des diffé-

rences de rayonnement, car nos thermomètres sont abrités. Il y a là autre chose qu'une étude plus approfondie expliquera.

Quoi qu'il en soit, ces phénomènes, dont nous poursuivons l'étude, nous ont semblé assez importants pour attirer l'attention des météorologistes, aujourd'hui que l'on commence à se préoccuper de la création d'observatoires de montagne.

Annexe n° 12.

MÉTÉOROLOGIE FORESTIÈRE,

PAR M. FAUTRAT.

En 1866, un savant du plus grand mérite et de la plus rare modestie, M. Mathieu, commençait, à l'École forestière de Nancy, diverses séries d'observations dans le but d'arriver à déterminer l'influence que peuvent exercer les forêts sur les phénomènes météorologiques.

Le service des forêts venait de commencer le grand œuvre de la restauration des montagnes; le reboisement allait achever dans les dunes la conquête du sol, et l'on signalait de tous côtés les désordres produits par les déboisements inconsidérés. Le moment était venu de chercher à se rendre compte du rôle des forêts dans l'atmosphère.

M. Mathieu choisit à Nancy, pour lieux d'observation, deux pays voisins et comparables, l'un forestier et l'autre agricole. Il rechercha en ces deux stations si, en raison du couvert des arbres interceptant l'eau pluviale, le sol des forêts était aussi bien arrosé que celui des champs et si, dans une même région, sous le couvert des bois, la température était plus basse qu'en terrain découvert.

A la suite de dix années d'observations, M. Mathieu est arrivé à cette conclusion que les sols boisés reçoivent autant et plus d'eau que les terrains nus, et que les forêts tendent à abaisser la température. Ces expériences, fort importantes, jointes aux recherches si remarquables de M. Becquerel, ont mis en évidence l'influence des forêts au point de vue météorologique dans les régions choisies pour leurs études par les deux savants observateurs.

Un grand pas venait ainsi d'être fait dans cette voie d'observation; mais de même que, pour bien connaître les courants aériens, il est indispensable de suivre leur marche dans toutes les régions de l'atmosphère, de même on ne saurait conclure quels sont les effets généraux des forêts par ce qui se passe dans une forêt déterminée. Les études locales sont autant de jalons que trace le météorologue pour arriver à formuler une loi, et ce n'est que par des expériences multipliées que l'on peut parvenir à connaître la nature exacte des influences dont les forêts sont cause. Dans le département de l'Oise, nous avons cherché avec un ingénieur éminent, M. Sartiaux, à recueillir d'utiles éléments pour la solution du problème dont M. Mathieu avait commencé l'étude.

Les savants observateurs qui nous avaient précédés avaient choisi, pour leurs expériences, deux pays voisins et comparables, l'un forestier et l'autre agricole. Une objection pouvait être faite à ce mode d'expérimentation. Il est, en effet, bien difficile de trouver deux pays voisins et comparables. L'altitude, l'altitude relative surtout, la situation du pays, le relief, la configuration du sol, sont autant de causes influant sur les phénomènes météorologiques, et il est bien rare de rencontrer deux régions présentant pour l'observation des conditions absolument identiques.

Pour mettre nos recherches à l'abri de toute critique, nous avons entrepris, à un

autre point de vue, des expériences qui viennent confirmer celles du savant directeur de l'École de Nancy.

Le but de la communication que nous avons l'honneur de faire au Congrès est d'exposer la méthode que nous avons suivie dans le département de l'Oise, et de faire connaître les phénomènes observés pouvant, dans une certaine mesure, éclairer d'un jour nouveau la question si controversée de l'influence des forêts au point de vue météorologique. Nos stations d'observation ont été choisies sous bois et hors bois, à une distance assez faible de la forêt pour que les différences dans les résultats constatés ne puissent être attribués qu'à son influence. Nous avons aussi établi deux stations au-dessus de la forêt et en dehors, à la même altitude, assez près de la forêt pour que la situation topographique des deux stations soit identique, et assez loin pour que la station hors bois ne soit influencée que par les dernières couches de l'écran froid et humide de la forêt.

De cette sorte, nous avons pu comparer tous les phénomènes météorologiques se produisant au milieu des bois et dans leur voisinage, et apprécier leurs nuances absolument comme la photographie reproduit sur le verre les différentes gammes des objets soumis à son épreuve.

Il était intéressant de rechercher si l'influence des bois variait avec les essences composant le massif. Nous avons essayé de nous rendre compte de ces variations en plaçant nos observatoires : le premier, près du village de Fleurines, dans une grande clairière formée par les sables moyens du terrain tertiaire, au centre de la forêt d'Halatte, ayant une contenance de 5,000 hectares, peuplée en bois feuillus; le second, dans le massif de pins sylvestres de la forêt d'Ermenonville, couvrant sur plus de 1,000 hectares les sables blancs à gros grains du terrain tertiaire.

Les études faites aux stations d'Halatte et d'Ermenonville ont été dirigées dans le but de chercher à déterminer l'influence des forêts sur la répartition des pluies, sur l'état hygrométrique de l'air, sur le régime des sources, sur le climat.

Nous allons chercher, à l'aide des données recueillies jusqu'à ce jour, à faire connaître la mesure de ces influences dans la région d'observation.

§ 1. INFLUENCE DES FORÊTS SUR LA RÉPARTITION DES PLUIES.

Pour nous rendre compte de l'influence des forêts sur la répartition des pluies, nous avons mesuré, dans un pluviomètre totalisateur de $0^{m},22$, la quantité de pluie versée au-dessus du massif boisé et la quantité de pluie tombée à la même altitude en terrain découvert. Les résultats obtenus depuis le mois de juin 1875, et donnés ci-après, établissent d'une façon très nette le pouvoir condensateur des forêts. Ces résultats communiqués à l'Académie des sciences nous montrent les forêts, dans le milieu qu'elles occupent, formant de véritables appareils de condensation, produisant sur les courants pluvieux qui les traversent une action manifeste, de sorte qu'il tombe plus d'eau au-dessus de la forêt que sur les terres voisines.

Bois feuillus. — En 1874, la hauteur d'eau tombée au-dessus du massif excède de 35 millimètres la hauteur d'eau recueillie pendant le même temps en terrain découvert.

En 1875, la différence en faveur de la forêt est de 9 millimètres.

En 1876, cette différence, dans le même sens, est de 28 millimètres. Elle est de 24 millimètres en 1877 et de 13 millimètres, pour sept mois d'observation, en 1878.

Bois résineux. — Pour sept mois d'observation dans les pins, on constate une différence de 42 millimètres en faveur du massif. Cet écart, en faveur de la forêt, est de 61 millimètres en 1876, de 67 millimètres en 1877, et les sept mois d'observation, en 1878, accusent une différence de 27 millimètres en faveur des bois résineux.

Pour tous les mois, quelle que soit la saison, on retrouve en faveur du massif des différences variant de 2 à 4 millimètres chez les bois feuillus, de 2 à 16 millimètres chez les bois résineux.

De l'ensemble de ces faits il ressort clairement que, lorsqu'il pleut, la forêt reçoit plus d'eau que les terres voisines, et qu'au-dessus des forêts de pins ce fait météorologique est encore plus nettement accusé. Si les forêts forment de véritables appareils de condensation, le degré de condensation doit varier avec la puissance de l'appareil : la futaie doit avoir plus d'action que le gaulis.

Nous avons cherché à vérifier ce fait en mesurant la quantité d'eau versée au-dessus du mont Pagnotte, dans la forêt d'Halatte, à une altitude de 215 mètres. Le mont Pagnotte est le point culminant de la forêt. Son sommet est formé par un dépôt de sables et de meulières couronnant les nappes argileuses des contreforts de la montagne, autour de laquelle s'élève une jeune futaie de chênes et de hêtres.

En 1875, la hauteur d'eau tombée au-dessus du mont Pagnotte excède de 49 millimètres la hauteur d'eau versée à la station de Fleurines, en terrain découvert, à une altitude de 122 mètres.

En 1876, la différence dans le même sens est de 29 millimètres. Elle est de 29 millimètres en 1876 et de 88 millimètres en 1877.

Nous retrouvons dans ces écarts l'influence de la futaie qui, venant se joindre à la différence d'altitude produit au mont Pagnotte son maximum d'effet.

MM. Babinet et Becquerel ont ainsi expliqué cette action des forêts sur les courants pluvieux qui les traversent :

Le massif en regard du courant forme un véritable barrage. Le courant s'élève au-dessus de la forêt; c'est l'action mécanique. Là il rencontre un milieu plus hygrométrique, un courant ascendant qui l'entraîne dans des régions plus froides, favorisant la condensation; c'est l'action physique. Nous pensons aussi que les forces électriques viennent se joindre à ces causes. L'atmosphère est électrisée positivement; cette électricité détermine à la surface de la terre la formation du fluide contraire. Le fluide s'écoule par la cime des arbres dans les régions de l'atmosphère traversées par le courant pluvieux et va reconstituer le fluide neutre.

Cette combinaison, a pour effet de diminuer dans ce courant la tension électrique. Les forces de répulsion qui tenaient éloignées les vésicules de vapeur deviennent moindres, et le travail de condensation plus soutenue doit produire plus d'effet. Dans les bois résineux, les mille pointes que développent chaque année les verticilles des pins, favorisent mieux que les feuillus l'action électrique, et le grand pouvoir condensateur des pins nous paraît tenir à cette cause.

§ 2. INFLUENCE COMPARÉE DES BOIS FEUILLUS ET DES BOIS RÉSINEUX SUR L'ÉTAT HYGROMÉTRIQUE DE L'AIR.

Des déterminations ont été faites depuis 1874, dans les forêts d'Halatte et d'Ermenonville, pour rechercher quelles différences présentaient, au point de vue hygrométrique, les couches d'air situées au-dessus de la forêt, et celles du dehors. Les résultats obtenus établissent que l'air, au-dessus des bois, contient en dissolution plus de vapeur d'eau que dans la plaine.

En 1874, dans les bois feuillus, la comparaison, faite jour par jour, du degré hygrométrique moyen pris au-dessus de la forêt et dans la plaine donne une différence de 1 centième en faveur de la forêt. La différence est la même en 1875. Elle est de 3 centièmes en 1876 et en 1877.

Dans les bois résineux, la différence en faveur des pins, en 1875, est de 13 centièmes; elle est de 7 centièmes en 1876, et de 8 centièmes en 1877. Ces observations

démontrent la propriété qu'ont les bois de concentrer les vapeurs. En effet, le degré moyen de saturation de l'air s'élève constamment au-dessus de la forêt, si on le compare à celui de la plaine, et comme la capacité de l'air pour la vapeur est plus grande au-dessus du massif, parce que la température y est généralement plus élevée, il y a, en valeur absolue, plus de vapeur d'eau qu'en terrain découvert. Il paraît ainsi résulter de ces observations que les massifs de pins ont, sur l'état hygrométrique de l'air, une plus grande influence que les autres essences. De sorte que, si les vapeurs dissoutes dans l'air étaient apparentes comme les brouillards, on verrait les forêts entourées d'un vaste écran humide, et chez les résineux, l'enveloppe serait plus tranchée que chez les bois feuillus.

Pour expliquer ce fait, il nous paraît indispensable de faire intervenir les forces électriques. Mises en mouvement par les aiguilles des pins, elles diminuent dans l'atmosphère les tensions électriques et permettent le rapprochement des vésicules de vapeur, qui, chargées de fluide, se tenaient d'autant plus éloignées qu'elles étaient plus électrisées.

Ces couches de vapeur enveloppant la forêt sont pour les terres arables une source de bienfaits. Elles se répandent sur les terres voisines du massif, et lorsque les corps au-dessus desquels elles planent se sont refroidis, par suite du rayonnement nocturne, elles se condensent en une rosée bienfaisante qui vivifie le sol.

§ 3. INFLUENCE DES FORÊTS SUR LE RÉGIME DES SOURCES.

Pour arriver à nous rendre compte de l'influence des forêts sur le régime des sources, nous avons recherché, aux stations d'Halatte et d'Ermenonville, si le sol forestier conservait plus d'eau que le sol agricole. En raison du pouvoir condensateur de la forêt, nous avons montré qu'il tombait plus d'eau sur le massif qu'en terrain découvert, de sorte que, si toute la pluie versée sur la forêt parvenait sur le sol et filtrait à travers les couches du terrain perméable, elle se répandrait en plus grande abondance dans les nappes souterraines. Une partie de cette eau est arrêtée par la cime des arbres; une autre partie est évaporée. Nous avons cherché à établir dans quelle mesure se trouvait réduit, pour ces deux causes, le volume d'eau formant la réserve destinée à l'alimentation des sources. A Fleurines et à Thiers, six pluviomètres placés sous le gaulis, et un udomètre adapté à la tige d'un arbre de couvert moyen, ont permis de mesurer la quantité d'eau tombant sur le sol forestier. A Fleurines, en 1874, le sol forestier a reçu les $\frac{60}{100}$ de l'eau versée sur le sol agricole, et la cime des arbres a intercepté les $\frac{44}{100}$ de l'eau précipitée.

En 1875, le sol boisé a reçu les $\frac{64}{100}$ de l'eau tombée sur le sol agricole. La cime des arbres a intercepté le $\frac{37}{100}$ de l'eau précipitée.

En 1876, il est tombé sur le sol forestier les $\frac{67}{100}$ de la quantité d'eau versée en terrain découvert, et la cime des arbres a intercepté les $\frac{28}{100}$ de l'eau précipitée.

A la station de Thiers, en 1876, il est tombé sous le couvert des pins les $\frac{33}{100}$ de l'eau reçue à la station hors bois, et la cime de pins a intercepté les $\frac{52}{100}$ de l'eau précipitée.

En 1877, on a recueilli sous les pins les $\frac{48}{100}$ de l'eau tombée à la station hors bois, et la cime des arbres a intercepté les $\frac{55}{100}$ de l'eau précipitée. Ces résultats paraissent démontrer que les bois résineux retiennent plus de la moitié de l'eau qui leur est versée, tandis que les bois feuillus laissent arriver au sol, tout près des $\frac{2}{3}$ de l'eau que reçoit le massif. Cette puissance d'abri des bois résineux mérite d'être notée. Elle démontre que dans les reboisements entrepris pour combattre le fléau des inondations, il faut choisir de préférence les essences résineuses dont le couvert est plus apte à apporter un obstacle à la chute sur le sol des pluies torrentielles.

Si les bois feuillus ne laissent arriver au sol que les $\frac{4}{5}$ de l'eau reçue en terrain découvert, si les bois résineux interceptent environ la moitié des eaux pluviales, pour que le sol forestier soit aussi bien abreuvé que celui des champs, il faut que les différences d'évaporation sous bois et hors bois viennent compenser les pertes produites par le couvert des arbres. C'est donc par l'étude comparée de l'évaporation sous le massif et en dehors que l'on peut arriver à connaître si le sol forestier retient plus d'eau que le sol agricole.

Deux méthodes ont été employées aux stations de Fleurines et de Thiers pour suivre cette marche de l'évaporation. On s'est servi, sous bois et hors bois, de l'évaporomètre Piche, et les indications recueillies jusqu'à ce jour depuis 1874, à l'aide de cet instrument, ont été les suivantes :

En 1874, on a trouvé que l'évaporation en terrain découvert était trois fois plus rapide que sous le couvert des bois.

En 1875, l'évaporation sous bois paraît être quatre fois plus faible que sous le massif.

En 1876, les résultats obtenus ont été les mêmes qu'en 1875.

Sous les pins, en 1875, l'évaporation s'est montrée moins active qu'en terrain découvert; en 1876, elle est trois fois moins rapide qu'au dehors.

En 1877, on retrouve les résultats constatés en 1875.

Pour chercher à résoudre avec ces données le problème dont il s'agit, prenons la relation de $\frac{1}{3}$, exprimant en 1876 le rapport entre l'évaporation sous le couvert des pins et hors bois.

Suivant Ebermayer, la couverture des feuilles exerce la même action que le couvert des arbres, et l'on peut dire que sur le sol boisé couvert de mousse et de détritus végétaux, l'évaporation est six fois plus faible qu'en terrain découvert.

Si l'on appelle A la quantité d'eau tombant sur le massif de pins, λ le rapport de la quantité d'eau évaporée sur le sol découvert à la quantité d'eau reçue, la quantité d'eau versée en plaine, aux abords de la forêt, est

$$\frac{Ag}{10},$$

et la quantité d'eau filtrant à travers le sol agricole est

$$\frac{Ag}{10} - \frac{\lambda Ag}{10}.$$

La quantité d'eau reçue sur le sol forestier en 1876 est, l'expérience l'établit,

$$\frac{A \times 48}{100},$$

et la quantité d'eau évaporée, en adoptant le rapport donné par l'évaporomètre Piche, se trouve être

$$\frac{A \times 48\,\lambda}{100 \times 6},$$

de sorte que le volume d'eau conservé par le sol forestier est

$$\frac{A\,48}{100} - \frac{A\,48\,\lambda}{100 \times 6}.$$

Pour que le sol forestier soit mieux abreuvé que le sol agricole, il faut examiner quelles conditions doit remplir λ dans l'inégalité

$$\frac{A18}{100}-\frac{A18\lambda}{100\times 6}>\frac{gA}{10}-\frac{\lambda Ag}{10},$$

il faut que λ soit plus grand que 0.52, c'est-à-dire que l'évaporation fasse perdre au sol découvert plus des 0.52 de l'eau qu'il reçoit.

Pour arriver à déterminer λ, c'est-à-dire à connaître directement l'évaporation du sol, les expériences suivantes ont été entreprises à la station de Thiers, dans la forêt d'Ermenonville.

Deux cylindres de $1^m,40$ de hauteur et de 45 centimètres de diamètre, terminés par une partie conique et pouvant contenir dans la partie cylindrique des masses de terre de 250 kilogrammes ont été mis, l'un sous le couvert des pins, le second hors bois, à 50 mètres du massif, dans des cavités creusées pour les recevoir. Les masses de terre renfermées dans les cylindres sont soumises à l'évaporation. Elles reçoivent l'eau de pluie, tombant sur le sol forestier et sur le sol découvert. Deux pluviomètres de même dimension que les cylindres donnent le volume de l'eau qui vient s'ajouter à la masse soumise à l'évaporation; un tamis adapté à la base des cylindres laisse tomber dans la partie conique formant récipient l'eau filtrant à travers la masse d'expérience.

Cette eau, recueillie chaque jour dans une éprouvette servant à déterminer l'épaisseur de la couche d'eau versée dans le cylindre, donne la mesure de la quantité de pluie qui, n'étant pas restituée à l'atmosphère, s'en va former sous terre la réserve alimentaire des sources.

En amenant les cylindres à l'aide d'une moufle et d'un petit chemin de fer, sur une bascule donnant à 4 grammes près les différences de poids, on peut, à l'aide de pesées, se rendre compte de l'eau évaporée.

Une première série d'observations a été faite en mai et juin 1878.

Le premier mois, une masse de terre a été soumise à l'expérience, dans le cylindre hors bois.

Le poids du cylindre et de la terre était de 242 kilog. 150. Dans le cylindre sous bois a été mise une masse de terre identique.

Le poids du cylindre et de la terre était de 246 kilog. 250. Les mesures faites jusqu'au 22 juin, à l'aide des pluviomètres, ont établi qu'une couche d'eau de 170 millimètres était venue, dans le cylindre hors bois, s'ajouter à la masse d'expérience et qu'une couche d'eau de 120 millimètres était tombée pendant le même temps dans le cylindre sous bois.

La mesure de l'eau drainée dans l'appareil sous bois a donné une couche d'eau de 46 millimètres, et toute l'eau drainée dans l'appareil hors bois a donné une couche de 63 millimètres.

Le 22 juin, les cylindres mis sur la bascule ont donné un poids :

Le cylindre sous bois, de 248 kilog. 750;

Le cylinde hors bois, de 242 kilog. 500.

De la comparaison de ces poids avec ceux obtenus le 1er mai, il résulte :

1° Que, le 22 juin, la masse de terre dans le cylindre sous bois contenait une couche d'eau de 20 millimètres qui, s'ajoutant aux 46 millimètres d'eau recueillie, donne, pour le volume d'eau retenue sous bois, 66 millimètres;

2° Que, le 22 juin, la masse de terre dans le cylindre hors bois contenait seulement une couche d'eau de 3 millimètres qui, s'ajoutant aux 63 millimètres recueillis, donne, pour le volume d'eau retenue hors bois, 66 millimètres.

Dès lors, si, pour deux stations d'observation si rapprochées que la station hors bois se trouve encore soumise directement à l'influence de la forêt, nous trouvons que, malgré le couvert interceptant l'eau pluviale, le sol forestier est aussi bien abreuvé que

celui des champs, ne peut-on conclure que le sol forestier retient plus d'eau que le sol agricole?

Le premier mode de démonstration tendrait à le prouver, car s'il suffit d'établir que l'évaporation fait perdre au sol découvert plus des $\frac{52}{100}$ de l'eau qu'il reçoit, l'évaporomètre de Thiers nous montre que, sur les 170 millimètres d'eau tombée hors bois, 104 millimètres, soit les $\frac{62}{100}$ de l'eau reçue, ont été restitués à l'atmosphère sous forme de vapeur. C'est le même résultat qu'avait trouvé M. Risler, en Suisse, à la suite d'une longue série d'observations faites à un autre point de vue sur des sols agricoles.

Les expériences des mois de juillet et d'août mettent encore plus nettement en lumière l'influence des forêts au point de vue hydrologique.

Ainsi pendant ces deux mois, il est tombé dans l'appareil hors bois 108 millimètres, dans l'appareil sous bois 82 millimètres.

Hors bois, on a recueilli 32 millimètres d'eau drainée, sous bois 42 millimètres, et les différences des pesées maintiennent le même avantage à la forêt; si les observations qui se poursuivent chaque jour continuent à donner des résultats dans le même sens, il sera établi, par l'expérience directe, que le sol forestier est plus apte que le sol agricole à conserver les eaux pluviales et à concourir à l'alimentation des sources.

§ 4. INFLUENCE DES FORÊTS SUR LE CLIMAT.

Le climat, en un lieu donné, est la résultante de toutes les variations atmosphériques pouvant impressionner les organes des plantes et des êtres vivants. Les forêts, en favorisant la concentration des vapeurs et leur condensation, sont la cause, dans le milieu où elles s'élèvent, de phénomènes météorologiques ayant sur le climat une action manifeste; aussi dans le voisinage des forêts règne-t-il une humidité sans cesse entretenue et renouvelée par le massif.

Cet état hygrométrique, dans les pays chauds, vient tempérer l'ardeur du climat. A cette action modératrice s'ajoute celle du couvert des arbres. Les arbres, en arrêtant sur leur cime une partie des rayons solaires, modifient la température des couches d'air qu'ils abritent, et, depuis quelques années, des recherches ont été faites pour arriver à connaître ces modifications diverses.

M. Mathieu, à la suite de dix années d'observations, a reconnu que, sous le couvert des bois feuillus, la température était plus basse qu'en terrain découvert.

Pour fournir une donnée de plus à ce problème, des déterminations thermométriques ont été faites aux stations de Fleurines et de Thiers, à 1^{m},40 du sol sous *le couvert des bois feuillus* et *en dehors,* à la même altitude, à 300 mètres du massif, *sous le couvert* des *bois résineux* et *en terrain découvert,* à la même altitude, à 400 mètres de la forêt.

L'étude, jour par jour, des températures observées, démontre que les bois à l'état de massif, qu'ils soient feuillus ou résineux, ont un pouvoir réfrigérant.

Cette action frigorifique, très faible pendant la saison froide, très manifeste pendant la saison chaude, est mieux accusée chez les bois résineux que chez les bois feuillus.

Ainsi, en juin, juillet, août, les pins ont abaissé la température moyenne :

En	1875 .... de	0° 60	1° 70	1° 60
	1876	1 00	1 20	//
	1877	0 90	1 10	1 50

Pendant le même temps, les bois feuillus ont refroidi les couches d'air :

En	1875 .... de	0° 90	1° 40	1° 50
	1876	0 40	0 30	0 35
	1877	0 70	0 80	0 30

Pendant les mois d'hiver, l'action frigorifique du couvert dans les bois feuillus n'a eu pour effet que d'abaisser de quelques dixièmes de degré la température moyenne. Les pins, pendant cette saison, ont produit un peu plus de froid, mais l'abaissement de température dû à leur couvert n'a pas dépassé un degré.

Tel est le mouvement général produit par le couvert des bois, mouvement modérateur puisqu'il se manifeste surtout pendant la saison chaude, de sorte que les forêts, dans leur voisinage, produisent les effets salutaires des mers sur le climat des côtes.

L'examen des courbes que donnent, pour les bois feuillus et les bois résineux, les températures moyennes mensuelles, minima et maxima, nous montre que le fait météorologique que nous venons d'indiquer se modifie quelquefois, avec les saisons, de façon à augmenter encore le pouvoir régulateur de la forêt.

En effet, dans les bois feuillus, en mars et septembre 1874, en mai et juin 1875, en juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre 1876 et 1877, contrairement à la loi générale, la température moyenne minima, sous le couvert du massif, est plus élevée qu'en terrain découvert et donne des différences variées de 0° 4 à 1 degré, en faveur de la forêt. Cette élévation de température au printemps est favorable à la végétation. A l'automne, elle tend à rendre moins brusques les variations de température aux approches de la saison froide.

L'étude des températures moyennes maxima, sous bois et hors bois, montre dans quelles limites peut s'étendre l'action frigorifique des bois.

Pendant l'été, le couvert des arbres a tempéré l'effet des grandes chaleurs en abaissant la température :

En juillet	1874	de 3° 0
	1875	2 7
	1876	1 3
	1877	2 2
	1878	3 0

Pendant tous les autres mois, à l'exception des mois d'avril 1875, 1876, 1877, 1878, l'abri formé par la cime des arbres a produit les mêmes effets, mais à un degré moindre. L'exception signalée et constante pour le mois d'avril, se traduisant par une élévation de température sous bois de 0° 5, tient à l'échauffement des arbres qui, rayonnant autour d'eux la chaleur acquise, ont élevé la température.

Chez les bois résineux, sans exception, pour tous les mois d'observation les températures moyennes minima et les températures moyennes maxima sont toujours moins élevées sous bois qu'en dehors.

Pendant les grandes chaleurs, le couvert des pins a abaissé de 2 degrés environ la température moyenne maxima. Quand on pénètre dans un massif de pins, à l'heure du maximum de température, l'impression que l'on éprouve ferait croire à des résultats contraires à ceux que nous venons d'indiquer. Cet effet est dû à l'état hygrométrique de l'air sous les pins, et cette impression est bien connue de ceux qui ont exploré les pays dans lesquels l'air est saturé de vapeurs.

Pour bien connaître toute l'influence des forêts sur la température du milieu où elles croissent, il était nécessaire d'étudier la température des couches d'air au-dessus du massif et de comparer les observations thermométriques prises dans ce lieu, aux déterminations faites hors de la forêt, à la même altitude, à 300 mètres du massif.

Des observations recueillies en ces deux stations se dégagent plusieurs faits intéressant la météorologie et la physiologie végétale. Dans les bois feuillus, la température des couches d'air au-dessus du massif est généralement plus élevée qu'en dehors, mais les thermomètres placés au milieu de la sphère d'activité des organes foliacés ont donné des indications qui semblent être en rapport avec les fonctions vitales des végétaux.

Pendant les mois de printemps, au moment de l'épanouissement des bourgeons, la température est plus élevée de quelques dixièmes de degré au-dessus de la cime des arbres. Il en est de même à l'automne quand les feuilles deviennent inertes, et le maximum d'effet correspond au printemps, au maximum d'élimination d'acide carbonique, et à l'automne au moment où les feuilles n'accomplissent plus leurs fonctions organiques.

Pendant la durée de la végétation, alors que la radiation solaire sur la surface foliacée devrait produire au-dessus du massif une température plus élevée, le thermomètre en accuse une plus basse.

Les phénomènes d'assimilation et de transpiration qu'accomplissent les feuilles se manifestent par un abaissement de température, et le thermomètre reflète ce mouvement en descendant, au-dessus du massif, de quelques dixièmes de degré.

Au-dessus du massif de bois résineux les températures maxima sont constamment plus élevées qu'en terrain découvert, et les différences, variant de 0° 2 à 0° 7 en faveur de la forêt, sont constantes pour tous les mois d'observation. Les températures minima sont au contraire toujours plus basses, et les écarts, comme pour les maxima, varient de 0° 2 à 0° 7.

Si l'on compare les températures prises sous le couvert des bois et au-dessus du massif on remarque que, dans les bois feuillus comme dans les bois résineux, la forêt modifie la loi suivant laquelle la température décroît avec la hauteur. Les couches d'air au-dessus de la forêt sont plus chaudes que celles qu'elle abrite, et l'écart de la température varie de 0° 4 à 1° 20. Par suite de ce fait météorologique, il s'établit au-dessus de la forêt un courant d'air chaud ascendant. Les différences de température sous bois et hors bois donnent naissance autour des bois à des courants latéraux. Ces courants amènent pendant l'été une brise salutaire. Le courant ascendant, mettant en communication le sol et les nuages, favorise la reconstitution du fluide neutre, et son action modératrice tend à réduire les forces électriques. On peut donc dire qu'au lieu d'observation les bois, à l'état de massif, qu'ils soient feuillus ou résineux, contribuent à tempérer l'ardeur du climat. Tel est le résumé des études faites dans le département de l'Oise, pour arriver à déterminer le rôle des forêts dans l'atmosphère. En terminant, qu'il me soit permis de remercier le Congrès de l'honneur qu'il a bien voulu me faire, en écoutant avec une si parfaite bienveillance le compte rendu de nos modestes travaux.

La météorologie forestière est un lointain dans le vaste tableau qu'embrasse la météorologie générale, et j'ai été certainement bien téméraire en cherchant à éclairer ce second plan, d'un jour bien pâle, si on le compare aux vives lumières jetées par le Congrès sur les diverses parties de ses tableaux soumis à ses études.

Annexe n° 13.

NOTICE SUR L'ANNONCE DES CRUES ET SUR LES OBSERVATIONS HYDROMÉTRIQUES,

PAR M. GEORGES LEMOINE,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, DOCTEUR ÈS-SCIENCES, SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ MÉTÉOROLOGIQUE.

Les problèmes qui se rattachent au régime naturel des eaux courantes et à l'annonce des crues ont surtout été étudiés et résolus par M. Belgrand. Je serais très heureux que cette notice succincte pût faire apprécier toute la portée des travaux de l'homme si éminent et si regretté dont j'ai eu l'honneur d'être pendant douze ans l'élève et le collaborateur.

§ 1er. ANNONCE DES CRUES.

Quand la pluie est tombée, la hauteur des crues qui en résultent dans les rivières du bassin versant est par là même déterminée. Il est du devoir de l'État de se charger d'annoncer cette hauteur à l'avance toutes les fois qu'il y a à ces avertissements un intérêt sérieux. On entre aujourd'hui dans cette voie; depuis quelque temps, il y a dans tous les grands bassins de la France des ingénieurs chargés de ce qui concerne l'annonce des crues. Mais il s'en faut de beaucoup que les résultats acquis aient partout l'exactitude qu'on a obtenue depuis 1854 dans le bassin de la Seine, grâce à la direction de M. Belgrand, et depuis 1859 environ, dans le bassin de la Meuse, grâce aux efforts de M. Poincarré [1]. Dans le bassin de la Seine en particulier, M. Belgrand avait provoqué dès 1854 l'établissement d'un réseau d'observations très régulières et très complètes sur la hauteur des rivières, centralisées par le service hydrométrique spécial. C'est ce qui a permis d'arriver aujourd'hui à l'annonce numérique des crues, non seulement pour la Seine mais encore pour ses principaux affluents.

Depuis 1854, M. Belgrand a indiqué régulièrement la cote maximum probable :

Pour la Seine	à Paris, en moyenne..................	3 jours à l'avance.
	à Mantes............................	4

Depuis 1872 environ, M. G. Lemoine, sous la direction de M. Belgrand, a ajouté à ces annonces celles des grands affluents :

Pour	la Seine, à Montereau, en moyenne	2 jours à l'avance.
	l'Aisne, à Pontavert, en amont de Soissons.......	3
	la Marne, au pertuis de Damery, près d'Épernay...	3
	l'Oise, à Compiègne.......................	4

Les avertissements envoyés par le service hydrométrique du bassin de la Seine s'ap-

[1] Pour ce qui concerne le système d'avertissement des crues de la Meuse, voir l'exposition du pavillon météorologique au Trocadéro.

pliquent non pas seulement aux submersions, mais aux plus petites crues. Les petites variations de niveau ont en effet toujours une importance réelle, soit pour la navigation, soit pour les travaux en rivière.

Principes du système d'annonces de crues. — La relation qui existe entre la quantité de pluie tombée et la hauteur de la crue qui en résulte est des plus compliquées, car elle dépend d'une foule d'éléments différents : la nature et la configuration du sol, son état de sécheresse, sa température, etc. Aussi n'est-ce pas en général par les observations sur la pluie, mais par celles sur les petites rivières de la portion supérieure d'un bassin que se fait l'annonce des crues. La relation à établir entre les variations de niveau du cours d'eau principal et de ses petits affluents est du reste simplifiée par un principe vraiment scientifique dont l'influence prépondérante a été mise admirablement en lumière par les travaux de M. Belgrand : c'est la distinction des terrains *perméables* et *imperméables* [1].

Dans les terrains perméables, les eaux s'infiltrent dans le sous-sol lentement et souvent à de grandes profondeurs; les rivières ordinairement peu nombreuses qui s'y trouvent, ont leurs crues extrêmement lentes. Dans les terrains imperméables, les eaux coulent à la surface du sol; les rivières ont des crues brusques et élevées; elles sont *torrentielles*, tandis qu'elles sont tranquilles dans les terrains imperméables.

Dans le bassin de la Seine, les crues des grands cours d'eau doivent toujours leur maximum au passage des eaux torrentielles, c'est-à-dire venant des terrains imperméables (granit, argiles du lias, terrain crétacé inférieur, argiles à meulières des terrains tertiaires). Les eaux venant des terrains perméables ne font que soutenir la crue. Pour prévoir le maximum, il suffit donc d'établir une relation entre les variations de niveau du grand cours d'eau et les phénomènes hydrologiques qui ont lieu dans les terrains imperméables d'amont; les terrains perméables forment comme des régions neutres dont on n'a pas à tenir compte. C'est ainsi que, pour annoncer les crues de la Seine à Paris, on ne fait (comme première approximation) intervenir en aucune façon ce qui se passe sur la Petite-Seine entre Châtillon et Troyes, parce que la Petite-Seine a la plus grande partie de son bassin perméable.

Cette relation à établir entre les montées du cours d'eau principal et les montées des petites rivières des terrains imperméables est obtenue d'une manière purement empirique. On fait le relevé d'un grand nombre de crues, on pose entre les montées (c'est-à-dire les variations de niveau) des équations de condition; on arrive par tâtonnement à une formule approximative, qu'on cherche à rendre aussi simple que possible.

Ainsi, pour faire l'annonce des crues de la Seine à Paris, M. Belgrand a choisi comme repère de ce qui se passe dans les terrains imperméables les rivières suivantes :

Yonne à Clamecy.
Cousin à Avallon.
Armançon à Aisy.
Marne à Chaumont.
Marne à Saint-Dizier.
Saulx à Vitry-le-Brûlé.
Aire à Vraincourt (près Clermont-en-Argonne).
Aisne à Sainte-Menehould.

La montée, c'est-à-dire l'accroissement de niveau de la Seine à Paris, est à peu près égale au double de la moyenne des montées des affluents énumérés ci-dessus.

De même, pour annoncer les crues de l'Aisne à l'échelle de Pontavert, en amont de Soissons, j'ai reconnu que la montée de l'Aisne à cette échelle est à peu près la somme

[1] Toutes ces questions ont été développées par M. Belgrand dans son beau livre de l'*Hydrologie du bassin de la Seine* (Paris, chez Dunod, 1873).

de la montée de l'Aisne à Sainte-Menehould (ancienne échelle) et de la moitié de la montée de l'Aire à Vraincourt.

Je n'insiste pas sur les règles d'annonce que j'ai établies pour les autres affluents de la Seine, car elles sont semblables à celles qui viennent d'être citées.

On peut remarquer que les mêmes stations qui servent à annoncer les crues de la Seine à Paris permettent de faire l'annonce des crues de ses principaux affluents : l'Yonne, la Seine entre Montereau et Paris, l'Aisne, la Marne, l'Oise. C'est pour cela que dans un même bassin, c'est un seul et même service qui doit avoir la responsabilité de toutes les annonces.

Organisation du système d'avertissements. — D'après ces principes, le système d'annonces est organisé de la manière suivante :

Dans les diverses stations des terrains imperméables servant de repères, un observateur, en général chef cantonnier ou éclusier, lit tous les matins la cote de la rivière à l'échelle; il adresse immédiatement à Paris le bulletin de la cote observée. Cet envoi se fait en temps ordinaire par la poste, mais dès la moindre crue, par le télégraphe.

A Paris, le bureau du service hydrométrique reçoit à 10 heures du matin tous ces bulletins. On rapporte graphiquement ces relevés des hauteurs des rivières. Quand elles sont en hausse, on applique les règles d'annonce de crue et l'on envoie, en général avant midi, les bulletins d'avertissements. Le plus souvent, l'annonce se fait en plusieurs fois; le premier jour, les montées des affluents supérieurs ne sont pas encore complètement terminées et l'on se contente d'annoncer une crue; le second jour, on précise le maximum de la crue de la Seine à Paris. Du reste, les grandes crues de la Seine sont ordinairement des crues multiples où la montée se produit progressivement par l'effet des crues successives et complètement distinctes des affluents supérieurs : ainsi en 1876, la montée de $6^m,09$ sur la Seine à Paris (cote maximum : $6^m,68$ à l'échelle du pont d'Austerlitz) a été produite par sept crues des petites rivières des terrains imperméables supérieurs. Mais dans tous les cas, l'annonce indique trois jours à l'avance l'effet qui sera produit sur la Seine par les phénomènes météorologiques actuels. Les mêmes remarques s'appliquent aux autres rivières du bassin.

Aujourd'hui, les avertissements pour les crues de la Seine, de l'Yonne, de la Marne, de l'Aisne, de l'Oise, sont transmis à plus de cent personnes, par porteur, par la poste ou par le télégraphe. L'envoi se fait directement, sans recourir en aucun cas pour les services publics à la transmission hiérarchique ordinaire, qui produirait un retard trop considérable. Dans les grandes crues, les agents des ponts et chaussées préviennent les populations riveraines.

Pour donner par quelques chiffres un aperçu des résultats de ce système d'avertissements, nous dirons que la grande crue de septembre 1866 a été annoncée à 15 centimètres près, et la grande crue de mars 1876 à 5 centimètres près. Grâce à ces annonces, en 1876, et malgré des submersions très étendues au-dessous de Paris (2,613 hectares entre Paris et Rouen), il n'y a pas eu de mort d'homme et les dégâts ont été très atténués.

Extension du système d'annonces. — Tel est l'état actuel du système d'annonces de crues organisé sous la direction de M. Belgrand pour la Seine et ses grands affluents. Si l'on veut procéder de la même manière, par la méthode *scientifique,* on peut arriver à des résultats analogues pour toutes les grandes rivières, soit en France, soit à l'étranger.

C'est ainsi que, pour organiser les annonces des crues de la Saône, nous avons, M. Belgrand et moi, conseillé l'installation et l'utilisation d'observations journalières sur les rivières suivantes :

Haute-Saône, à Gray et à Port-sur-Saône.

Oignon, à Lure et à Villersexel.

Doubs à Pontarlier, Morteau, Saint-Hippolyte et Besançon.

Loue, à Ornans et Quingey.

En Allemagne, les crues de l'Elbe pourraient s'annoncer sans aucune difficulté, au moins à partir du moment où le fleuve sort de la Bohême, dont il ramasse toutes les eaux. D'après les observations détaillées que j'ai eu occasion d'étudier, le maximum des crues se produit à Magdebourg environ trois jours après Dresde. La montée (variation de niveau) à Magdebourg est environ les $\frac{8}{10}$ de celle qui se produit à Dresde.

Pour quelques rivières extrêmement torrentielles, telles que l'Ardèche et d'autres cours d'eau compris entre le Rhône et les Pyrénées, l'annonce devrait probablement être organisée en partant des quantités de pluie. Les crues de ces rivières sont en effet produites ordinairement par une seule chute de pluie qui atteint en vingt-quatre et quarante-huit heures des proportions énormes (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 18 janvier 1875). Dans ces conditions, le sol n'a besoin d'aucune préparation spéciale, il faudrait signaler tout de suite ce qui se prépare au moyen des observations pluviométriques établies sur les points les plus élevés des bassins où tombent ces pluies gigantesques.

§ 2. ÉTAT ACTUEL DES OBSERVATIONS HYDROMÉTRIQUES.

Pour arriver à annoncer les crues sur les grandes rivières, il ne faut pas oublier qu'il est indispensable d'avoir à sa disposition toute une série d'observations anciennes sur les hauteurs des cours d'eau, les petits aussi bien que les grands. Je désirerais que cette notice pût fixer davantage l'attention des météorologistes sur l'utilité de ces observations hydrométriques régulières et journalières. Elles sont absolument nécessaires à différents points de vue.

Sous le rapport de la météorologie pure, les variations de niveau des rivières résument très nettement dans ses grands traits l'état général de l'atmosphère. Elles montrent tout de suite, d'une manière frappante, les caractères des grandes périodes d'humidité ou de sécheresse. C'est au cours d'eau qu'aboutit en définitive l'action des pluies, cet élément météorologique prépondérant au point de vue de l'agriculture.

Sous le rapport des applications pratiques, on a absolument besoin de connaître le régime des rivières pour l'annonce des crues et pour tous les problèmes qui se rattachent à l'utilisation des eaux. On ne doit pas perdre de vue que le transport incessant de l'eau liquide, depuis les montagnes jusqu'à la mer, constitue un réservoir de force immense et gratuit dont on a trop peu usé jusqu'ici et que le développement de l'emploi de la vapeur a fait peut-être trop négliger. Pour pouvoir utiliser ces grandes forces naturelles, il faut d'abord les connaître; de là, la nécessité d'un réseau d'observations régulières et convenablement choisies sur la pluie et les cours d'eau, semblable à celui que M. Belgrand a organisé depuis 1854 dans le bassin de la Seine.

Dans cette installation d'observations régulières sur les cours d'eau, il est absolument nécessaire de s'attacher non pas seulement aux grandes rivières, mais à un certain nombre de petites rivières dont le versant soit assez grand pour être soustrait à l'action d'averses toutes locales et assez petit pour être homogène au point de vue géologique. C'est là le seul moyen d'obtenir des notions précises sur le mode d'écoulement des eaux pluviales dans les différents terrains; les observations de ce genre forment la base même de l'hydrologie. En procédant ainsi, on arrive tout de suite à la distinction fondamentale énoncée par M. Belgrand et qui a servi de point d'appui à tous ses travaux; la distinction des terrains perméables et imperméables.

Examinons quelles sont en Europe, les régions où se font ainsi des observations régulières sur les hauteurs des cours d'eau; nous reconnaîtrons tout de suite de très grandes inégalités et de très grandes lacunes.

En France, les observations sur les cours d'eau ont été organisées d'une manière presque complète dans le bassin de la Seine par M. Belgrand, depuis 1854; elles sont publiées en détail chaque année; depuis 1867 j'y ai joint chaque année un mémoire détaillé publié dans l'*Annuaire de la Société météorologique*. Les principaux résultats ont été développés dans le beau livre de M. Belgrand sur l'*Hydrologie du bassin de la Seine*. (Paris, chez Dunod, 1872.)

Depuis 1871, M. Belgrand a fait beaucoup d'efforts pour provoquer l'établissement d'observations hydrométriques régulières en dehors du bassin de la Seine. Il en a recueilli un grand nombre et les a publiées chaque année pour 1872, 1873, 1874, 1875 et 1876 dans le *Bulletin météorologique spécial de l'Association scientifique de France*[1]. Néanmoins, il y a encore un très grand nombre de régions où les observations sont nulles ou insuffisantes.

En Suisse, une *Commission hydrométrique* spéciale a été constituée vers 1866, principalement sur l'initiative de M. l'ingénieur Lauterburg. Elle fonctionne régulièrement depuis cette époque et s'occupe de recueillir tous les documents relatifs au régime des eaux courantes, qui en Suisse sont dans une situation toute spéciale à cause de l'existence des glaciers. Les observations journalières des hauteurs des principales rivières sont régulièrement organisées et sont publiées chaque année *in extenso*.

En Italie, on a depuis 1871 et 1872 organisé successivement pour les bassins du Tibre et de l'Arno des services d'études hydrologiques pour l'organisation desquels M. l'ingénieur Canevari a demandé des renseignements détaillés à MM. Belgrand et Lemoine. Des observations assez nombreuses ont été fondées, et des publications régulières très développées ont eu lieu chaque année à partir de 1872. Elles sont exactement semblables à celles du service hydrométrique du bassin de la Seine.

En Prusse, et dans le reste de l'Allemagne du Nord, des observations régulières sont faites sur les grands cours d'eau, mais elles ne sont pas publiées; il n'y a pas d'observations sur les petits cours d'eau. Les questions d'hydrologie n'ont guère été étudiées jusqu'ici d'une manière vraiment scientifique.

En Angleterre, les observations sur la hauteur des rivières manquent complètement.

Tel est, d'une manière générale, l'état actuel des observations hydrométriques. On voit qu'il y a encore beaucoup à faire pour ces études si importantes qui intéressent à la fois les ingénieurs et les météorologistes. Il est grand temps que l'homme fasse l'inventaire des forces et des richesses que la Providence a mises à sa disposition dans les eaux naturelles aussi bien que dans les métaux que renferme le sol.

[1] Pour la discussion de ces observations qui s'étendent à toute la France, voir les Mémoires publiés par M. Belgrand dans l'*Atlas de l'Observatoire* pour 1872, 1873, 1874 et 1875; voir aussi le Mémoire publié par MM. Belgrand et G. Lemoine dans l'*Atlas de l'Observatoire* pour 1877 sur les crues des principales rivières de France en mars 1876.

Annexe n° 14.

SUR LA DIMINUTION DES SOURCES ET DE L'EAU[1] À LA SURFACE DE CERTAINS CONTINENTS,

PAR M. L'ABBÉ RICHARD.

Il y a déjà longtemps que j'ai soutenu devant des sociétés savantes une théorie qui intéresse particulièrement la météorologie : je veux parler de la *diminution* des sources et des rivières et de la diminution de l'eau à la surface de certains continents. Ce sont les faits qui m'ont conduit à cette affirmation.

Depuis vingt ans, je parcours le monde, appelé par les gouvernements, les villes, les industriels et les propriétaires pour la découverte des sources par la géologie; or quand je visite les localités où l'on me fait faire des explorations, voici ce que j'entends :

Monsieur l'abbé, il y avait ici autrefois une source abondante; elle ne débite presque plus rien. Notre rivière était beaucoup plus forte. Notre source a tout à fait disparu, l'eau de nos puits a baissé, etc., et des milliers de fois, j'ai entendu répéter ces mêmes affirmations. En Autriche, en Turquie, en Espagne, en Algérie, etc., non seulement j'ai cru à ces faits, mais j'en suis arrivé à établir que cela doit être d'après les lois constitutives de notre globe terrestre.

Les causes de cette diminution sont très multiples; je placerai d'abord :

1° Les défrichements et les déboisements. Les bois et les forêts non seulement retiennent les nuages humides, mais encore retiennent sur le sol les eaux pluviales, qui pénètrent peu à peu la terre et ressortent à l'état de sources.

2° Les drainages et le desséchement des étangs. Pour assainir un terrain, vous le drainez; or cette eau qui séjournait dans la terre entretenait des sources qui coulaient toute l'année. Les drains ont facilité leur passage et l'eau s'écoule toute dans deux mois et souvent dans moins de temps, ce qui explique la fréquence des inondations et leur retour presque périodique dans notre siècle. Je pourrais citer beaucoup d'exemples où les desséchements d'étangs ont amené la disparition des sources et des rivières, je ne parlerai que du Loir.

Le Loir aujourd'hui ne commence qu'à Illiers; il y a trois cents ans ses sources commençaient à 12 kilomètres en amont d'Illiers. Cette disparition des sources du Loir est devenue légendaire dans le pays[2].

[1] J'ai signalé ce fait en 1863 à Dusseldorf devant un congrès de naturalistes, et en 1871 à Edimbourg à l'Association britannique pour l'avancement des sciences.

[2] Voici ce que dit la légende :

Le duc de Sully qui habitait le château de Villebon avait de grands étangs. Des moines qui avaient leur monastère en amont étaient aussi propriétaires d'étangs; or dans une grande crue d'eau les étangs des religieux débordèrent et le poisson descendit dans les étangs du duc de Sully. Les bons religieux firent observer au duc, qu'ils lui sauraient gré s'il voulait bien leur permettre de reprendre leurs poissons. Le duc qui était un peu goguenard, répondit : «Mes révérends pères, je fais pêcher la semaine prochaine. Venez, et toutes les tanches, les carpes et les brochets qui porteront sur leur tête une croix, une crosse ou une mitre, prenez-les et les emportez.» Les religieux piqués, blessés, qu'ont-ils fait? Ils ont fait disparaître les sources du Loir.

Il y a quelques années, je fus appelé par un conseiller général qui m'écrivait au nom des maires des communes situées entre Illiers et le point où émergeaient les premières sources du Loir, afin de me demander s'il n'y aurait pas moyen de retrouver les sources du Loir. J'appris qu'autrefois, en amont d'Illiers, dans une distance de 10 à 12 kilomètres, il y avait sept à huit grands étangs, que sur chacun de ces étangs il y avait un moulin; or chaque meunier devait nécessairement emmagasiner le plus d'eau possible, pour que son moulin marchât plus longtemps, et comme il y avait toujours au moins un moulin qui marchait, le Loir coulait toute l'année. Tous ces étangs ont disparu et avec eux les sources du Loir.

3° Le percement des routes, des canaux, les chemins de fer.

Si le desséchement des étangs et des marais facilite l'écoulement rapide des eaux pluviales, on peut en dire autant du percement des routes avec leurs fossés alignés; du creusement des canaux et jusqu'à l'établissement des chemins de fer dont les tranchées profondes coupent ou détournent les sources.

4° Nous devons admettre encore, comme cause de diminution des sources les soulèvements et affaissements locaux du sol, l'usure du lit des sources et des rivières, les effondrements sous les cours d'eau, les gouffres, les bétoires qui absorbent souvent des rivières entières. Une fois admis que les sources et les ruisseaux diminuent, comme ce sont les petits ruisseaux qui font les grandes rivières, il faudra donc admettre que nos grandes rivières, nos fleuves, diminuent et c'est aussi un fait observé, notamment sur l'Elbe.

Mais je pousserai plus loin encore mes inductions en les appuyant toujours sur des faits, et je dirai que l'*eau diminue* à la surface de certains continents.

J'ai visité les déserts de l'Arabie Pétrée et de la Thébaïde, où actuellement il ne pleut jamais et j'y voyais des lits de torrents et de rivières, des ravins profonds creusés par les eaux. Dans ce voyage j'étais avec un ingénieur et un capitaine; nous faisions nos excursions à chameau. Un jour on m'amena un chameau très remuant, qui ne me plaisait pas; mon chamelier me dit : Nous vous l'avons donné parce qu'il traverse très bien les rivières. Je ne fis pas assez d'attention à ce propos, et après deux ou trois heures de marche : Et nos rivières, demandai-je, quand les trouvons-nous? Ah! monsieur, il y a longtemps que nous les avons traversées. Nous avions, en effet, traversé plusieurs lits de torrents et des ravins profonds, mais sans une goutte d'eau.

Maintenant, je demanderai aux membres si éminents de ce Congrès, s'ils pensent que cette diminution générale de l'eau à la surface des continents doive continuer sans temps d'arrêt, ou s'il faut admettre dans cette marche descendante des phases variables, et enfin si cette diminution n'aurait pas, comme l'une de ses causes principales, les grands amas de glaces polaires qui vont toujours croissant et qui retiennent ainsi en captivité d'immenses volumes d'eau.

Annexe n° 15.

L'OZONOMÉTRIE,

PAR M. LE D^r AD. BÉRIGNY.

Ce n'est pas sans raisons que j'ai demandé à la commission du Congrès qu'elle veuille bien mettre à l'ordre du jour de ses séances la question suivante : *Quelle est la valeur du papier ozonométrique?* Je désirais apprendre par les savants qui nous ont fait l'honneur de répondre à notre invitation, les travaux auxquels ils se sont livrés sur cette question, afin de profiter de leur expérience.

Il y a vingt-trois ans, c'est-à-dire en 1855, je fondais, pour ainsi dire, l'ozonométrie en France au moyen du papier Schœnbein; cette série je ne l'ai pas interrompue, de sorte qu'elle se continue encore aujourd'hui.

Dès le début je ne me suis pas fait d'illusion sur l'imperfection du papier ozonométrique; aussi ai-je tenu compte des observations qui lui étaient faites et j'ai imprimé dans mon premier mémoire que j'étais tout prêt à reconnaître l'insuffisance de ce papier, s'il m'était prouvé qu'il n'a aucune valeur scientifique; j'ajoutais que dans ce cas même je rendais encore un service à la science en démontrant sa nullité, parce que découvrir une erreur c'est prouver une vérité.

Quant aux objections qui surgirent dès le début de mes observations, elles me paraissent très douteuses, ou plutôt trop peu étudiées, parce qu'elles ne reposaient que sur des expériences de trop courte durée, puisqu'elles ne duraient généralement que pendant quelque temps, pour être interrompues, puis reprises, avec des papiers qui n'étaient pas identiques. Si donc on persévéra dans l'étude de l'ozonométrie pendant vingt-trois ans, c'était afin de fournir à la discussion une quantité considérable et par conséquent respectable de faits.

De plus, en novembre 1856, j'ai entrepris un voyage à Bâle dans le but de prendre des renseignements auprès de l'illustre Schœnbein, parce que je ne voulais continuer mes observations qu'après avoir causé avec un savant aussi autorisé.

Schœnbein reconnut bien vite, après avoir examiné la petite série dont je m'étais prémuni, que non seulement son papier n'était pas assez sensible, mais aussi que son échelle chromatique ne représentait pas les diverses teintes de coloration de son papier, et il voulut bien ajouter : « Vous avez pris la question à cœur, à vous de perfectionner, car quant à moi je n'ai qu'un but, celui de poser le principe, principe que je crois vrai. Je tâcherai de préparer un papier plus sensible et je vous l'enverrai. »

Comme je ne recevais pas de Schœnbein le papier plus sensible dont il avait promis de s'occuper et qu'il devait m'envoyer, je résolus de me mettre en rapport scientifique avec un savant chimiste, M. Jame (de Sedan), que je connaissais d'ailleurs depuis quelque temps, et je le priai de rechercher s'il ne serait pas possible, tout en conservant la base des réactifs chimiques employés par Schœnbein, d'obtenir un papier plus sen-

sible que celui de l'illustre chimiste de Bâle. M. Jame se mit à l'œuvre et il me fournit en 1858 un papier qui depuis cette époque est employé par tous les observateurs qui se livrent à l'étude de l'ozonométrie, et au moyen duquel, après avoir fait d'heure en heure des observations de jour et de nuit, j'ai pu construire, avec l'aide de mon collaborateur Richard et de M. Salleron, une gamme chromatique de vingt et un tons au lieu de dix que donnait celle de Schœnbein. Notre nouvelle échelle ressembla alors beaucoup aux gammes chromatiques de M. Chevreul, parce que, comme elles, elle porte vingt et un tons différents, tous équidistants les uns des autres.

Je suis, certes, loin d'attribuer à notre instrument une perfection dernière; mais il est évident que sous le rapport du nombre des tons, comme sous celui des colorations à peu près identiques, il constate un progrès.

Malgré l'imperfection du papier ozonométrique, et malgré les objections qu'il soulevait, je continuai mes observations, jusqu'à ce qu'il me fût démontré que je me trompais, lorsque M. Marié-Davy fit à la Société météorologique, en 1865, une communication qui prouve une corrélation remarquable entre la production des orages et la coloration des papiers.

Il résulte de ce travail fait pendant le mois d'octobre 1865 dans vingt et une stations ozonométriques départementales, dont les unes appartiennent au bassin de la Méditerranée, les autres sur le versant de l'Océan et de la Manche, ou dans l'intérieur des terres, «que, d'après des comparaisons faites par M. Marié-Davy, malgré les influences locales incontestables, le caractère de généralité du phénomène auquel on attribue la coloration du papier ioduré, lui paraît hors de doute, au moins pour le mois d'octobre 1865, et que ce phénomène paraît intimement lié au passage des bourrasques.» M. Marié-Davy ajoute : «C'est déjà la conclusion à laquelle avait conduit la comparaison des observations de M. Bérigny avec les cartes de 1864 et 1862. Il n'existe aucune concordance constante entre la coloration et l'un quelconque des éléments météorologiques pris individuellement; mais elle atteint son maximum dans la portion du mouvement tournant, dans laquelle le vent vient de la mer. Or, on remarquera que c'est dans la même portion qu'éclatent les orages.»

Cet observateur ne se prononce pas, d'ailleurs, pour l'ozone; cet état de l'oxygène lui paraissait très instable. Il est possible, disait-il, que l'ozone se transforme en produits nitreux à mesure qu'il se manifeste; dans ce cas, l'ozone serait encore l'origine des colorations.

«Il se peut aussi, continuait-il, que d'autres corps interviennent : c'est là une question de chimie; mais au point de vue météorologique, les papiers sensibles ont une valeur réelle et très grande; *ils peuvent signaler au loin le passage de bourrasques dont on ne subit pas encore les atteintes.*»

Fût-il démontré que l'ozone atmosphérique n'existe pas, que, d'après M. Marié-Davy, l'observation du papier ioduré n'en devrait pas moins rester comprise au nombre des observations régulières, utiles aux météorologistes.

Déjà en 1864 ce savant, en comparant mes courbes ozonométriques avec les cartes météorologiques de l'Observatoire de Paris, était arrivé aux résultats suivants : «1° Il n'est pas un *maximum* de coloration ou d'ozone qui ne corresponde avec la présence d'une bourrasque en Europe ou sur l'Atlantique en vue des côtes de France ou d'Angleterre; 2° certains *minima* sont dans le même cas; mais alors il arrive toujours que la bourrasque est refoulée vers le Sud avant d'atteindre le méridien de Paris et qu'elle traverse l'Espagne ou les Pyrénées pour s'étendre à la Méditerranée; 3° la coloration du papier est généralement très forte lorsque la bourrasque traverse la France ou l'Angleterre; elle se traduit encore lorsqu'elle passe à une assez grande hauteur dans le Nord. Elle varie avec l'intensité du mouvement atmosphérique et avec la distance de Paris à laquelle passe le centre de ce mouvement. L'ozone ne serait donc pas réparti sur tout

le pourtour du mouvement tournant qui caractérise chaque bourrasque. Le bord oriental en serait moins pourvu. »

Enfin, en 1867, M. Marié-Davy disait encore à la Société météorologique «que le degré de sérénité du ciel et la marche du baromètre étaient aussi en harmonie avec l'intensité de coloration du papier, à ce point, que ce dernier pourrait donner un pronostic météorologique, et il se demandait quel est celui, du papier ou du baromètre, qui subit la première influence.»

Je pourrais citer, avec mes observations personnelles, beaucoup d'autres faits et notamment les résultats identiques obtenus par notre si regretté et très consciencieux ami Ch. Sainte-Claire Deville avec le papier ozonométrique, résultats qu'il a consignés dans ses belles recherches sur les *phénomènes météorologiques périodiques*. Mais ses travaux étant imprimés dans les comptes rendus de l'Académie des sciences, je n'ai pas besoin de les consigner ici.

Eh bien! depuis, la question de l'ozonométrie a avancé, grâce toujours aux persévérantes recherches de M. Marié-Davy qui, depuis trois ans, a entrepris à Montsouris le dosage de l'ozone, dosage fondé sur l'emploi de l'arsénite de potasse.

M. Albert Lévy, son habile collaborateur, répondant à la note que M. Daremberg a envoyée il y a quelque temps à l'Académie des sciences, s'exprime ainsi : «J'ajouterai que les papiers ozonométriques sont si commodes qu'il m'a paru désirable de rechercher si l'on ne pourrait pas corriger leurs indications, des erreurs qui les affectent. J'ai pu établir, d'après les observations faites en 1877, une table de concordance entre les lectures arbitraires des papiers Schœnbein (M. Albert Lévy aurait dû dire les papiers Jame, de Sedan), et les poids de l'ozone contenus dans l'air. Cette table, publiée dans l'*Annuaire de Montsouris* et que j'ai communiquée à M. Daremberg, montre que l'on peut tirer des indications très utiles de l'observation des papiers ozonoscopiques, au moins dans l'établissement des moyennes. Et même les courbes quotidiennes de l'ozone dosé par l'arsénite, ou évalué par le papier, sont assez concordantes pour que l'on n'hésite pas à se servir des papiers ozonoscopiques, toutes les fois qu'on ne pourra pas faire le dosage exact.»

Il me semble qu'il est déjà difficile de détruire la signification des faits précédemment établis.

Mais en voici d'autres qui me semblent aussi devoir peser dans la balance en faveur de l'utilité de longues séries d'observations.

Les principales objections qui sont faites au papier ozonométrique consistent à dire que sa coloration doit être attribuée à l'influence de l'humidité et à la force du vent. Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, j'avais reconnu cette objection dans mon premier mémoire et j'en ai démontré la certitude au moyen des courbes qui prouvaient, aussi, que par une température élevée le papier est moins coloré que par une température basse, et même que, par un ciel plus ou moins couvert, ce papier était plus ou moins nuancé.

C'est pour m'efforcer d'élucider complètement cette objection, que j'ai fait un dépouillement de toute l'année météorologique de 1877, lequel dépouillement est résumé dans le tableau suivant :

MOIS	VENTS.				JOURS	
	FAIBLES.	FORTS.	SECS.	HUMIDES.	de SÉCHERESSE.	D'HUMIDITÉ.
Janvier	6.2	9.6	0.0	6.6	0.0	6.9
Février	12.1	12.3	8.5	13.0	10.0	12.3
Mars	10.1	12.3	6.7	11.8	8.0	11.5
Avril	11.0	10.2	8.2	12.6	8.2	12.5
Mai	9.2	9.7	9.1	9.6	8.5	9.9
Juin	5.3	7.9	7.2	6.5	4.3	7.8
Juillet	6.7	7.1	//	6.9	6.2	7.5
Août	6.2	7.3	4.5	6.8	6.0	6.8
Septembre	8.7	9.9	8.4	10.1	6.6	9.8
Octobre	7.6	11.0	6.5	9.3	4.4	9.5
Novembre	9.2	14.0	//	10.7	//	10.0
Décembre	7.6	//	4.4	10.7	//	7.7
TOTAUX	99.9	111.3	63.5	114.6	62.2	112.2
MOYENNES	8.3	10.1	6.3	9.5	6.2	9.3

On le voit, j'ai recherché quelle est la coloration : 1° par les vents faibles (de 0 à 3); 2° par les vents forts (4 à 7); 3° par les vents secs (E. et N. E.); 4° par les vents humides (W. et S. W.); 5° par la sécheresse (humidité relative jusqu'à 60); 6° par l'humidité (humidité relative de 61 à 100).

Il résulte de ce travail statistique que les moyennes de coloration ont été les suivantes :

1° Par les vents faibles 8.3
2° Par les vents forts 10.1
3° Par les vents secs 6.3
4° Par les vents humides 9.5
5° Par les jours de sécheresse 6.2
6° Par les jours d'humidité 9.3

Il est bien évident que les vents forts, les vents et les jours humides exercent une certaine influence sur la coloration des papiers; mais il reste établi que par les vents faibles et secs, ainsi que par les jours secs, cette coloration se produit aussi quoique un peu plus faible (un tiers environ) et que ce résultat pourrait presque servir de correction.

A quelle cause donc attribuer la coloration du papier dans des conditions de sécheresse? Serait-il imprudent d'en rendre l'ozone responsable, et serait-ce à cause de l'affirmative qu'elle exercerait une influence sur les bourrasques, sur les tempêtes et sur les orages?

Je crois fermement, quant à moi, après vingt et un ans d'études, que la réponse n'est

pas douteuse; oui, dans des conditions bien étudiées avec de longues observations, on reconnaît une certaine utilité au papier ozonométrique.

Si maintenant l'on veut faire servir à des objections sérieuses les imperfections du papier ozonométrique, imperfections que j'ai toujours signalées telles que, par exemple, la blancheur qui se manifeste d'un moment à l'autre, je réponds qu'elles ne sont qu'accidentelles.

Si, en outre, on veut faire intervenir la composition complexe de l'air atmosphérique pour troubler ou déjouer le papier ozonométrique, je suis prêt à reconnaître la bonne foi des antagonistes de ce papier, mais à condition qu'ils ne continueront pas à s'enfermer dans des hypothèses, ou autrement dit qu'ils prouveront par des analyses chimiques bien établies quelles sont les causes qui détruisent la composition du réactif ozonométrique indiqué par Schœnbein.

Jusqu'à présent on a avancé, sous ce rapport, quelques objections plus ou moins douteuses, mais on n'a rien prouvé; il y a plus: c'est que les analyses chimiques faites par M. Albert Lévy à Montsouris me semblent éloigner de plus en plus ces hypothèses.

Maintenant, parlerai-je des objections soulevées par M. Daremberg, qui a envoyé à l'Académie des sciences (séance du 13 mai 1878) un réquisitoire foudroyant basé sur *dix jours* d'observations ozonométriques faites à Menton pendant les premiers jours de février, au bord de la mer et à 30 mètres plus loin.

Je dis un réquisitoire foudroyant, parce que M. Daremberg conclut de ces dix jours d'observations, «qu'il est absolument inutile de continuer les recherches ozonoscopiques.»

Rien que cette opinion, si prématurément avancée par notre jeune et honorable confrère, indique qu'il ne connaissait certainement pas les travaux qui avaient été faits sur la question qu'il combattait, travaux que je viens de résumer dans cette note.

Mais ce qui paraîtra plus grave à tous les hommes de science, c'est-à-dire aux savants, qui ne fondent des théories que lorsqu'elles sont basées sur un grand nombre d'observations, c'est qu'encore aujourd'hui il persiste dans son objection.

Contrairement à sa conclusion, me basant sur les recherches de Sainte-Claire Deville, sur celles de M. Marié-Davy, sur celles de M. Albert Lévy et sur les résultats que j'ai obtenus avec ma longue série d'observations, j'engage fermement les observateurs en général et M. Daremberg en particulier, dont le concours peut être très utile à l'ozonométrie, à continuer leurs recherches ainsi que l'ont toujours conseillé les savants que je viens de citer, parce que réellement l'étude du papier ozonoscopique laisse entrevoir déjà des résultats utiles pour la météorologie, si l'on étudie de longues séries d'observations.

Annexe n° 16.

DE L'IDENTITÉ DES RÉSULTATS FOURNIS AU SÉNÉGAL PAR L'OBSERVATION DE L'ÉVAPOROMÈTRE DE PICHE ET DU PAPIER OZONOMÉTRIQUE DE JAME (DE SEDAN),

PAR M. LE Dr BORIUS.

Des observations de l'ozone et de l'évaporation ont été faites pendant trente mois à l'observatoire que j'ai établi à Saint-Louis, au bord du fleuve du Sénégal. Il n'y a eu qu'une seule interruption de huit mois à la fin de l'année. Deux courbes représentent les moyennes par décades de l'évaporation d'une part et de l'ozone d'autre part. J'ai eu soin dans ces tracés de marquer le zéro de la coloration du papier au haut de l'échelle, tandis que le zéro de l'échelle de l'évaporation en millimètres est au point le plus bas de cette graduation. Toutes les observations, excepté celles de juin 1873, ont été faites sous l'abri, modèle Renou Sainte-Claire Deville, dans les conditions décrites dans mes *Recherches sur le climat du Sénégal*[1]. Ces deux courbes ont été ainsi tracées pour qu'il soit permis de constater leur identité presque complète, excepté aux mois de septembre et d'octobre pendant lesquels s'épuisait ma première provision de papier ozonométrique reçue de France.

On peut conclure de cette identité, qu'au Sénégal la coloration du papier ozonométrique est exactement en raison inverse de l'évaporation mesurée à l'aide de l'instrument de M. Piche.

Je n'ai pu retrouver une identité analogue dans les observations faites à Paris, ce qui peut avoir son explication dans la présence d'une quantité d'ammoniaque plus considérable dans l'atmosphère de Paris que dans celle de la côte d'Afrique.

Sans entrer dans la discussion des différentes causes qui, suivant les circonstances, font varier soit l'évaporation du liquide contenu dans l'instrument de M. Piche, soit la coloration du papier de M. Jame, je crois qu'il est permis de considérer les résultats identiques fournis par ces deux modes d'exploration de l'atmosphère comme l'expression de la résultante de quatre facteurs :

1° La température;

2° L'état hygrométrique de l'air;

3° La vitesse du vent;

4° L'ozone.

L'un de ces quatre facteurs restant constant, les variations des trois autres suffiront pour faire varier l'évaporation d'une part, la coloration du papier d'autre part.

Le papier ozonométrique ou ozonoscopique n'indique donc rien que de très incertain

[1] Paris, Gauthier-Villars, 1875.

quant à la quantité d'ozone contenu dans l'air, puisque, avec la même quantité, le degré de coloration du papier peut varier.

Humboldt l'avait fait remarquer, la météorologie est beaucoup plus simple, beaucoup plus facile à étudier sous les climats tropicaux que sous nos climats européens. C'est sans doute la simplicité des lois météorologiques dans le voisinage de l'équateur qui m'a permis de mettre en évidence la relation simple existant entre ces deux modes de recherches.

Les deux instruments sont mal dénommés, puisque l'on peut affirmer que l'évaporomètre de Piche n'est pas un évaporomètre, que le papier ozonométrique n'est pas un ozonomètre. Mais il est fort intéressant de constater que malgré la dissemblance des procédés, l'un physique, l'autre chimique, les résultats qu'ils fournissent sont identiques, ceux du papier étant cependant moins précis.

Nous proposerons comme conclusion l'abandon absolu dans les petits observatoires du papier de Jame (de Sedan). Et nous ne considérons l'usage de l'évaporomètre de Piche comme utile qu'autant qu'il sera bien convenu que cet instrument est un moyen de recherches dont la valeur reste à déterminer, mais n'est pas un évaporomètre.

L'ozone mérite d'attirer l'attention des météorologistes, mais il faut reconnaître qu'il n'existe actuellement aucun moyen simple et pratique d'en constater la quantité dans l'air et même parfois seulement la présence.

Au point de vue de l'hygiène et de la médecine, il n'y a aucune relation simple entre la coloration du papier Jame (de Sedan) et l'état sanitaire, soit que l'on considère cet état sanitaire par rapport aux mois et aux saisons, soit que l'on compare entre eux différents points de notre colonie du Sénégal sous le rapport de l'insalubrité. Toutes les affirmations sur l'influence de l'ozone sur l'état sanitaire trouvent des contradictions formelles dans les faits observés par nous au Sénégal.

Annexe n° 17.

MÉMOIRE

SUR LA QUATORZIÈME QUESTION DU PROGRAMME

PROPOSÉ LE 8 JUIN 1878.

QUELLE EST LA VALEUR DES PAPIERS OZONOMÉTRIQUES?

PAR M. A. LOUVET.

Corpora non agnnt, nisi soluta.

Il y a longtemps que l'on a remarqué que l'état dit ozonométrique de l'atmosphère, apprécié par les procédés actuels, est en rapport direct beaucoup plus avec l'humidité absolue qu'avec la propre richesse de l'air en électricité. Mais je pense qu'il est utile de mettre en relief un point de vue particulier de cette question ozonométrique : c'est la relation de cause matérielle à effet matériel sur le papier ioduro-amidonné, relation qui domine beaucoup plus le résultat obtenu que le rapport réel entre les états hygrométrique et ozonométrique, surtout que ce dernier état considéré absolument. Il n'est pas besoin d'insister longuement sur ces deux faits trop négligés : que l'eau est le milieu pour ainsi dire indispensable de tout phénomène chimique, pour faire saisir l'influence doublement vicieuse que peut exercer celle-ci sur l'impressionnabilité des papiers exposés secs et sur la nature des indications fournies.

En effet, l'air considéré à deux périodes différentes peut être également ozonisé et inégalement humide ; il est certain, *a priori*, et de nombreuses expériences me l'ont d'ailleurs prouvé, que l'on obtiendra par le fait de la plus grande action chimique de l'air plus humide un ton plus élevé dans l'une que dans l'autre période, et on attribuera cette différence à une plus forte proportion d'ozone. Inversement, l'air peut être également humide et inégalement ozonisé, et la circonstance dominant l'énergie propre du principe actif, les observations des deux périodes tendront à se rapprocher de l'égalité. Résultats faux.

De plus, quand on expose le papier sec, on admettra bien qu'il lui faut un temps relativement assez long pour absorber et garder la quantité d'eau nécessaire au commencement de la réaction, temps qui est entièrement dépendant de la quantité absolue de vapeur d'eau dans l'air d'une part, de la rapidité de l'évaporation d'autre part, et qu'on ne pourra jamais préciser. Ce qui prouve qu'il en est réellement ainsi, ce sont les particularités suivantes que j'ai notées plusieurs fois : par une atmosphère très peu humide et que d'autres procédés me démontrent médiocrement ozonisée, de 3 à 4 par

exemple, j'expose à 6 heures du soir sous un abri où l'évaporation nocturne ne diffère pas énormément de celle du jour une bandelette de papier Jame ; à 6 heures du matin j'ai soin de constater la nuance sans humectation du papier, et je trouve 1 ou 1.5 de la gamme à vingt et un tons : je la réexpose à côté d'une bandelette neuve, et à 6 heures du soir je compare les deux papiers secs. Or, l'état, dit ozonométrique, étant resté le même dans la deuxième période que dans la première ou lui ayant été en apparence très peu supérieur, ce qui m'a été indiqué par un autre criterium indépendant de l'expérience, voici ce que je constate : la bandelette exposée une seule fois et consultée sèche est à peine impressionnée encore entre 1.5 et 2 ; la bandelette exposée deux fois et consultée sèche marque cette fois 4 ou 4.5. On verra dans la suite de cette note que l'action définitive de l'ozone sur les papiers réactifs secs est loin de représenter la somme de petites actions successives, d'heure en heure par exemple; mais j'admets, pour le cas le plus favorable à l'objection que j'avance, qu'il en ait été pourtant ainsi dans tous mes essais : la bandelette exposée deux fois devrait marquer 3 ou au plus 3.5, et si elle dépasse sensiblement cette somme des deux teintes séparées, c'est évidemment parce que, dans le cours de la deuxième exposition seulement, elle a été suffisamment aux prises avec l'humidité électrisée et préparée par elle à recevoir en outre l'impression de l'oxygène actif O^3. Je répète que ces particularités sont assez rares, mais il suffit qu'elles puissent se produire de temps en temps pour que l'interprétation précédente ait force de démonstration expérimentale. Cette conclusion me paraît corroborée par les faits qui suivent : 1° l'expérience réussit beaucoup plus rarement sous l'abri si on la renverse, c'est-à-dire si on commence par l'exposition de jour, parce que l'évaporation étant à peu près la même que celle de la nuit, mais l'absorption marchant plus vite [(1)], l'humectation peut se faire suffisamment dans la première période; 2° au grand air au contraire, c'est cette disposition inverse qu'il faut rechercher, parce que l'excès de l'évaporation diurne sur l'évaporation nocturne est beaucoup plus grand que la différence de l'absorption minimum nocturne à l'absorption maximum diurne, d'où résulte en définitive une humectation moins marquée le jour que la nuit; 3° la particularité ne continue pas à s'affirmer pendant le cours d'une troisième exposition, les circonstances restant bien entendu les mêmes.

Enfin, comme on vient de le voir, l'humectation du papier ne se fait pas par absorption pure et simple de petites quantités successives d'eau atmosphérique, mais par un échange incessant entre lui et l'air, échange plus ou moins en faveur de la bandelette, et d'où peuvent résulter toutes sortes de vitesses d'impression, seulement dans un sens, depuis l'arrêt presque complet jusqu'à l'impressionnabilité normale, de sorte qu'il n'y a point d'excès pour compenser le défaut. J'ai pensé pendant un moment qu'il était plus logique d'humecter le papier dès le début de l'exposition; mais quoique ce *modus operandi* soit évidemment un progrès, à mon point de vue, sur le procédé ordinaire, il est évident qu'il offrira lui-même presque toujours l'inconvénient de ne pas fournir l'action *totale* et *isolée* de l'ozone pendant les douze heures d'exposition, puisqu'au bout de quelques instants le papier peut être assez peu humide pour ne pas subir l'influence chimique du gaz et pour subir au contraire sensiblement l'influence électrique de l'humidité, ou pour ne subir la première qu'en énorme disproportion avec la quantité de gaz actif. Il ressort de ces premières considérations que, pour obtenir sur le papier ioduro-amidonné une sorte d'action régulièrement progressive et totale de l'ozone cherché de douze heures en douze heures, il paraît indispensable de maintenir la bandelette dans un état constant de très légère humectation qui favorise l'action chimique du principe cherché et éloigne

(1) A Lorient, les tensions horaires de la saison chaude sont très sensiblement plus élevées de 6 heures du matin à 6 heures du soir que de 6 heures du soir à 6 heures du matin; la différence est plus marquée qu'à Paris.

l'action électrique non douteuse [1] de la vapeur d'eau atmosphérique. Il m'a semblé de tout temps qu'à cette condition seule les observations dites ozonométriques pouvaient acquérir la correction et la comparabilité exigibles de toute collection de ce genre : mais il fallait démontrer aussi par des expériences suffisamment nombreuses que cette critique et les propositions de réforme qui en découleront ont un autre point d'appui que des spéculations; c'est ce que je viens de faire récemment. Je commencerai par résumer le plus sommairement possible, en m'appliquant surtout à celles de la nuit, les expériences faites pendant une année entière, de mai 1877 à mai 1878, au milieu de la ville de Lorient, sous le vasistas d'une mansarde inhabitée. Je dirai quelques mots en même temps des observations en plein air, mais seulement ce qui sera strictement nécessaire comme appoint à cette discussion sur le meilleur mode d'emploi des papiers.

L'ozone a été apprécié simultanément au moyen d'une dizaine de dispositifs différents, dont je ne retiens pour le moment que les cinq qui suivent, indispensables à l'exposé de mes vues sur la question ozonométrique : I, de 6 heures du soir à 6 heures du matin, exposition d'une bandelette sèche de papier Jame; à 6 heures du matin, courte humectation et consultation de la gamme à l'aide du chromoscope; II, de 6 heures du soir à 6 heures du matin, exposition d'une bandelette de papier Jame, d'abord humide, puis abandonnée à la dessiccation; à 6 heures du matin, deuxième humectation pour la recherche de la teinte; III, dans les mêmes conditions d'heure et d'abri, exposition d'une bandelette de papier Jame maintenue toujours humide par de l'eau distillée; à 6 heures du matin recherche de la teinte; IV, dans les mêmes conditions d'heure et d'abri, exposition d'une bandelette de papier Jame maintenue très légèrement humide par une solution iodurée à 1 p. o/o, etc.; V, toujours dans les mêmes conditions, exposition d'un papier spécial abandonné à la dessiccation spontanée; à 6 heures du matin, recherche de la teinte sans et avec humectation préalable. Quelques autres renseignements plus explicites sur cette méthode particulière qui, sans être recommandée définitivement, m'a paru bonne à servir de criterium à la condition de changer les papiers quatre fois par jour, et présenterait encore de notables avantages sur les autres procédés selon que l'on rechercherait la commodité, la sensibilité ou l'économie. On a dans un flacon bien bouché à l'émeri et à large ouverture une solution d'iodure de potassium au $\frac{1}{100}$ qu'on renouvelle seulement tous les quinze jours à peu près. Une demi-heure avant d'exposer, on immerge dans la solution une bandelette de papier très blanc, parfaitement collé et préalablement lavé, tel que le papier tellière. On suspend sous l'abri pendant six ou douze heures, selon le but qu'on se propose, puis on détermine le numéro de la nuance franchement violacée ou violette que l'on a obtenue.

Or, avec le papier I, il est arrivé trente-sept fois dans des périodes de beau temps sec que l'impression a été nulle ou à peu près, et que l'on a marqué néant. Dans ces mêmes nuits, le papier II avait pris quelquefois une imperceptible teinte gris jaunâtre de o à 1 (nuance corrigée); le papier III avait pris une teinte rosée, jaunâtre, sale, de 1 à 2 : le n° IV avait une teinte orangée, roussâtre, de 1.5 à 3.5; la bandelette V avait une petite teinte violacée, pure, de 1 à 3. Il peut donc y avoir une proportion déjà très sensible d'ozone dans une atmosphère quelque peu sèche sans que le procédé ordinaire l'indique. Médiocres méthodes pour médiocres méthodes, je crois qu'en

[1] Tout le monde a pu constater le fait suivant, qui démontre expérimentalement la réalité de cette dernière action : si par un temps de pluie très fine on expose une bandelette, même déjà très humide, de manière qu'elle soit fouettée de temps en temps par la pluie, on ne tarde pas à apercevoir au milieu de la teinte générale un pointillé plus foncé, correspondant sans aucun doute à autant d'imperceptibles gouttelettes; ce pointillé persiste après la dessiccation.

attendant un procédé volumétrique à la portée de tous les observateurs [1], il est rationnel au moins d'adopter les plus sensibles, troisième, quatrième ou cinquième, ou mieux une modification éclectique et dérivée des trois, comme on le verra plus loin.

Mais, avant de poursuivre, il est nécessaire de dire la correction que je fais subir au procédé ordinaire pour apprécier sur les papiers perméables les teintes si faibles et si altérées qui viennent d'être dites : il n'est guère probable d'ailleurs que je sois le seul observateur à être si singulièrement gêné dans la chromoscopie des bandelettes Jame par le fait suivant : quand on retourne à plusieurs reprises dans de l'eau distillée un papier perméable, blanc ou grisâtre, non impressionné, et qu'on le porte immédiatement sous le livret, on remarque que l'eau lui a communiqué un rabat d'une intensité équivalente au troisième numéro environ de la gamme à vingt et un tons ; si légèrement même qu'on humecte ce papier, le rabat n'est jamais plus petit que 2 : quand on fait de l'ozonométrie en se conformant à l'instruction qui accompagne l'appareil Jame, on n'a donc affaire le plus souvent qu'à des teintes rompues dans lesquelles le rabat efface ou altère la couleur franche. Pour moi, j'avoue que je ne vois pas comment on peut démêler les deux premiers tons de la gamme et même le troisième dans ce gris malencontreux dont on part forcément après l'humectation, et au delà de ces tons, comment on peut assigner sûrement un numéro d'une gamme franche, à cette nuance rosée, jaunâtre ou orangée très impure que fournissent les papiers Jame moyennement impressionnés et humectés, nuance : 1° dont le point de départ n'est jamais le blanc pur de l'échelle; 2° dont les degrés en couleur franche sont loin d'être proportionnels à la quantité réelle de celle-ci entrant dans la composition de la teinte rabattue, exemples : *1° le papier exposé pendant douze heures, par un état moyen d'humidité absolue, est aussi incolore avant l'humectation que le papier non exposé, ou ne dépasse pas 1 ;* le plus souvent l'humectation ne révèle que la teinte grise 2.5 à 3 du Jame neuf et mouillé; mais il y a déjà des exceptions, et quelquefois la teinte révélée va jusqu'à un gris 4.5 violacé ou jaunâtre selon le procédé d'exposition : *2° la bandelette consultée sèche est marquée en un gris rosé de 1 à 2 ; il y a donc eu sans conteste une impression sensible ;* quelquefois l'humectation révèle une teinte rosée tendre ou gris jaunâtre de 4 et même 4.5 ; mais il arrive souvent que la teinte reste grise et entièrement comparable à celle du papier non exposé : *3° la bandelette a été impressionnée notablement, car, consultée sèche, elle est marquée déjà en un rosé tendre de 3 et 4 ;* l'humectation ne révèle que des teintes jaunâtres, orangées ou violacées, rabattues, comprises seulement entre 4.5 et 5.5; *4° la bandelette a été impressionnée très notablement, car, consultée sèche, elle est marquée en un roux ou un rosé plus jaunâtre = 5 et 6 ;* le violet ou le jaune orangé révélés par l'humectation ne vont pourtant pas au delà de 7 et restent le plus souvent dans le voisinage de 6. En un mot, dans ces limites, la couleur sensible acquise par l'exposition, sous des états hygrométriques peu différents, ne s'ajoute pas au rabat d'humectation au fur et à mesure qu'elle augmente visiblement sur le papier sec ; il n'était même pas besoin de preuves directes pour consigner le résultat que l'action rapidement éteignante du noir sur les couleurs les plus lumineuses pouvait faire prévoir. Pour les expériences comparatives que j'ai instituées ainsi qu'il a été dit plus haut, force m'a donc été de corriger le plus rationnellement possible et d'après les données ci-dessus, les teintes fournies par les papiers perméables humides : (*a*) Lorsque les bandelettes I et II d'abord consultées sèches marquent 0, puis consultées humides, marquent seulement 3 ou gris, je note pour elles néant ; si dans la même période d'observations, les bandelettes III et IV paraissent teintées en gris jaunâtre de 3 à 5, je leur donne au-dessus de zéro autant de degrés en nuance franche *n* qu'il y a de demi-degrés au-dessus de 3 en

[1] Les appareils à barbotement dans une solution titrée ne peuvent guère être employés que dans les grands établissements.

nuance rompue *n'*; — (*b*) lorsque les bandelettes I et II d'abord consultées sèches marquent 0.5 à 2.5, puis consultées humides marquent seulement de 3 à 4.5, je note pour elles au-dessus de la teinte sèche observée autant de degrés en *n* qu'il y a de 3 degrés au-dessus de 4 en *n'*; si la teinte humide va de 6 à 7, je marque 7.5; à partir de ce point l'orangé ou le violet l'emportent assez sur le rabat pour qu'on puisse attribuer aux papiers mouillés la même nuance en *n* que celle qui est révélée en *n'*; cette dernière règle s'applique surtout aux bandelettes III et IV qui dans les mêmes périodes d'observations peuvent être teintées de 5 à 10. De tels procédés de correction, plus empiriques que rigoureux, peuvent s'appliquer momentanément à des recherches particulières de peu de durée comme celles dont il est parlé dans cette note, mais ne peuvent faire partie évidemment d'un système continu où les observations doivent être enregistrées rapidement et sans laisser la moindre part aux appréciations individuelles. Aussi, je n'hésite pas à affirmer que le plus sûr, sans contredit, serait de renoncer, au moment de la recherche de la teinte, à l'humectation telle qu'elle est pratiquée d'après l'instruction; et les observateurs qui ne tiendraient pas absolument à isoler l'action de l'ozone de l'action électrique de l'humidité atmosphérique, qui voudraient par conséquent conserver l'usage des papiers actuels, opéreraient, ce me semble, avec plus de précision en renversant au moins le *modus faciendi,* c'est-à-dire humectant très légèrement au moment de l'exposition, abandonnant ensuite à la dessiccation spontanée et consultant le papier en équilibre avec l'état hygrométrique de l'air ou l'humectant simplement avec l'haleine pour mieux faire ressortir toute la teinte sèche. Seulement il arrive souvent qu'on n'obtient ainsi avec les papiers Jame que des nuances rosées, jaunâtres ou orangées; c'est un autre inconvénient que présentent ces petits ozonomètres, et que l'on ne rencontre pas avec le papier tellière extemporanément imbibé de la solution iodurée de 1 p. o/o.

Je fais bien remarquer que si, à cause du rabat dont sont frappés les papiers perméables, je repousse leur humectation au moment de la recherche, c'est pourtant à la condition qu'on ne sera pas placé dans des circonstances hygrométriques trop dissemblables. Voici des observations qui montrent à quelle erreur pourraient conduire de notables différences dans le dernier état de dessiccation du papier. Dans un premier intervalle de vingt-quatre heures, une bandelette ioduro-amidonnée exposée sèche a fourni comme teinte sèche 6; dans un autre nychthémère, une autre bandelette a fourni 6.5; dans une troisième expérience, on a eu 7; dans une quatrième, on a eu 6.5; mais après humectation très légère, on a obtenu respectivement 8, 7.7 et 7.5, c'est-à-dire que la bandelette la moins colorée à l'état sec était précisément celle qui avait reçu la plus forte impression; mais ce jour-là l'air était peu humide, il y avait une forte évaporation et la couleur de l'iodure d'amidon ne ressortait pas. Ce genre d'influence de l'humidité plus ou moins grande du papier au moment de la recherche de la teinte est bien plus frappant quand la substance sensible est l'iodure d'ammonium ammoniacal. J'ai vu de ces dernières bandelettes marquer seulement 8 à l'état sec et s'élever à 12 après humectation, tandis que d'autres qui étaient préalablement à 9, 9.5 et même 10, n'étaient poussées par l'eau distillée qu'entre 10 et 11; il est certain que le plus fort état ozonométrique était dans le premier cas, et qu'à cause des écarts assez considérables que peut présenter l'hydratation du papier, il paraît impossible de se dispenser de l'humectation, malgré l'inconvénient du rabat. On verra dans la conclusion technique de ces recherches comment j'ai paré à l'une et à l'autre difficulté.

A considérer l'ensemble des 365 observations de nuit précitées, les bandelettes I et II ont donné des indications de 0 à 7, les bandelettes III et IV de 0 à 10, les bandelettes V de 1 à 9.5. Mais il s'en faut de beaucoup que les minima et les maxima donnés par les unes soient synchrones des minima et des maxima donnés par les autres. En effet, j'ai déjà noté plus haut que dans les trente-sept nuits très peu humides où les

bandelettes I ont marqué *zéro* par incapacité physique du milieu, les bandelettes III et IV se sont toujours impressionnées sensiblement; inversement maintenant c'est dans des nuits moyennement humides où la vapeur d'eau a été suffisante pour actionner de son électricité les bandelettes sèches I, II et V, que les bandelettes humectées III et IV sont restées à zéro par impuissance de la vapeur d'eau atmosphérique et par absence réelle d'ozone. Les maxima sont plus difficiles à interpréter pour la théorie de la triple influence dont dépend la coloration des papiers amylo-iodurés, et quelquefois lui sont en apparence défavorables. Le plus souvent, à Lorient du moins, les plus notables quantités d'ozone reconnues ont coïncidé vraiment avec le temps le plus pluvieux, dans quelque secteur du disque tournant qu'on se soit trouvé, et alors les trois conditions ont paru réunies pour que les bandelettes sèches s'impressionnassent au maximum, savoir l'absorption plus facile de la quantité d'eau nécessaire à la réaction, l'accès tout à fait libre au début des molécules humides électrisées, l'abondance relative de l'ozone; pour les bandelettes III et IV, la première condition était acquise par le dispositif même; mais celui-ci neutralisait la deuxième en favorisant la troisième; d'où il semble que les maxima des bandelettes humides devraient être un peu inférieurs dans les périodes très pluvieuses aux maxima des papiers secs. Cependant elles donnent en général de 7.5 à 10 tandis que ceux-ci ne donnent que de 6 à 7. Je ne puis voir la raison de cette anomalie ailleurs que dans la résistance déjà signalée qu'offrent les papiers secs à l'humectation spontanée, résistance qui les met plus en retard sur les papiers humides que l'impuissance de la vapeur électrisée ne met ceux-ci en arrière sur les papiers secs. Quoi qu'il en soit, il est arrivé également que les bandelettes III ont été impressionnées jusqu'à 6 et 7; et les bandelettes IV jusqu'à 6 et 8, dans des nuits claires et moyennement humides où la bandelette V elle-même, plus sensible et moins soumise à l'influence hygrométrique que les papiers I et II, n'arrivait à se teinter qu'entre 3.5 et 5. Ces dernières observations qui ont été notées vingt-trois fois suffisent avec le dyschronisme des minima pour établir l'opportunité de rechercher l'action directe de l'ozone indépendamment de celle des vapeurs plus ou moins électrisées. Tel doit être à mon sens le but de l'*ozonométrie,* ou alors il faut donner un autre nom aux recherches actuelles faites avec les papiers Schœnbein, qui constitue plutôt un procédé d'*évaporométrie inverse.*

Voici la moyenne générale des 365 observations de nuit : *Procédé I,* nuance corrigée = 3.4 provenant de $n = 2.8$ et $n' = 4.3$; *Procédé II,* nuance corrigée = 3.9 provenant de $n = 3.1$ et $n' = 4.4$; *Procédé III,* nuance corrigée = 4.9 provenant de $n' = 5.4$; *Procédé IV,* nuance corrigée = 5.4 provenant de $n' = 5.7$; *Procédé V,* nuance sans humectation = 4.8 et après humectation = 5.7. Je fais remarquer qu'il ne faut point prendre les nombres pour les données ozonoscopiques du lieu; à une exposition moins abritée, tous les papiers secs donnent des indications notablement plus fortes (de 1.5 à 2 en plus), surtout dans les nuits fraîches où l'évaporation fait le moins obstacle à l'humectation spontanée; mais en ce moment ce n'est pas un tableau d'observations ozonométriques que je présente; je reste placé dans les circonstances où j'ai neutralisé le plus possible les effets gênants de l'évaporation en en diminuant les écarts. Dans quelques conditions d'ailleurs que soient faites les expériences, presque toujours on note à peu près la même différence entre les teintes sans humectation des papiers I et V, tant que l'état ozonométrique par un temps moyennement humide ne dépasse pas 4 ou 5 du tellière, cette différence étant presque constamment de 2.5 en faveur du dernier procédé. J'insiste sur ce fait, parce qu'il démontre qu'on peut trouver encore de l'ozone ou de la vapeur électrisée dans une atmosphère sèche et inerte vis-à-vis des papiers perméables secs.

C'est plutôt dans les observations de jour, sous l'abri, que les bandelettes III tendent à égaler ou à dépasser les bandelettes V, et que celles-ci sont sensiblement distancées par

les papiers IV. Sauf quelques exceptions dont j'essaye plus loin d'isoler la cause, les dernières ne donnent pas moins de 5, alors que le tellière reste à 3.5. Le 10 septembre 1877, la bandelette IV donnait 10 tandis que le papier V ne marquait que 4.5; la différence en faveur des papiers IV se maintient jusqu'au 7 du tellière; aussi la différence entre les moyennes reste-t-elle assez accusée. Les 365 observations de jour donnent 5.8 par le procédé V et 6.6 par le procédé IV. Il est à peine utile d'ajouter que le procédé ordinaire donne seulement 3.8, provenant de $n = 3$ et $n' = 4.4$, c'est-à-dire qu'en fondant les 730 observations dans une moyenne de 365 nychtémérales, on verrait qu'il révèle tout au plus les deux tiers du double agent susceptible d'affecter le papier. En plein air la proportion s'élève à peu près au trois quarts, à cause des observations de nuit qui la relèvent assez considérablement. Voici, en effet, les moyennes que j'ai obtenues dehors pour l'intervalle annuel considéré: nuit, Jame I = 5.7; tellière V = 7; jour, Jame I = 4.2, tellière V = 6.7.

Ainsi, le fait est clairement démontré : pour pouvoir assurer que la couleur acquise par le papier amylo-ioduré représente une sorte d'action totale de l'ozone vrai pendant douze heures, il faut absolument que la bandelette soit assez fortement iodurée et maintenue légèrement humide, sans approcher d'une imbibition qui favorise la réaction inverse de la potasse sur l'iodure d'amidon. Mais tous ces procédés par les papiers réactifs, pourtant si commodes à manier, présentent encore d'autres imperfections graves qu'il n'est pas facile d'éliminer entièrement.

Le tellière ioduré au fur et à mesure du besoin donne très bien les nuances pures de la gamme Schœnbein, sans doute parce que la matière amylacée s'y trouve en grand excès par rapport à l'iode mis en liberté; en outre, il offre incontestablement l'avantage, mais quelquefois l'inconvénient sur le papier ordinairement employé, de se dessécher beaucoup moins, et à surface égale de pouvoir concentrer plus d'eau atmosphérique; aussi, qu'il y ait des traces ou qu'il n'y ait même pas d'ozone dans un air très sec, il n'est jamais complètement insensible aux plus petites quantités de vapeurs qui peuvent exister dans celui-ci. Il est certain encore pour moi, que c'est à cause de l'humectation plus marquée le jour que la nuit, en raison de la valeur maximum de H — E[1], qu'il y a un si grand écart sous l'abri du vasistas entre les indications du jour et celles de la nuit pendant la saison chaude. Quoique l'ensemble de mes observations m'ait fait reconnaître le maximum de l'*ozone vrai*, pendant le jour, même à l'intérieur d'une ville maritime comme Lorient, je ne puis me résoudre à porter à l'actif de l'ozone seul l'énorme différence moyenne d'un quart trouvée en faveur de la journée dans les six mois de mai à novembre. Les résultats du dehors peuvent être bien plus faussés en sens inverse et être invoqués encore à l'appui de cette interprétation; en effet, pendant les mois de juillet et août les indications du tellière ioduré sont à peu près les mêmes le jour que la nuit; mais dans les mois de septembre et octobre où les nuits commencent à devenir très froides tandis que les après-midi restent chaudes, l'évaporation s'amoindrissant considérablement, l'humectation des papiers secs se fait beaucoup mieux la nuit, et en définitive ils s'impressionnent beaucoup plus que le jour, quoique les papiers humides décèlent moins d'ozone vrai dans la première que dans la seconde période. Voici les résultats donnés par le procédé V pendant les deux derniers mois précités: plein air, jour = 6.5, et nuit = 7.2; abri, jour = 5.5, et nuit = 4.5. Il ne me paraît pas possible d'expliquer autrement ces résultats diamétralement opposés sous l'abri et en plein air qu'en attribuant à la cause physique H — E une influence prépondérante sur l'action chimique proprement dite de l'ozone; une fois cet élément perturbateur reconnu, il ne peut plus rien subsister de l'édifice ozonométrique actuel..

A voir le papier V s'impressionner si notablement dans certaines atmosphères plutôt

[1] H (humidité absolue) — E (évaporation).

sèches qu'humides, marquer plus fortement quelquefois la nuit que le jour sous l'abri, quand les circonstances d'évaporation sont pourtant le moins favorables à l'humectation, à le voir par les temps très humides se teinter en apparence assez progressivement, et à remarquer enfin que par ces mêmes temps la différence entre les teintes sans humectation et après humectation tend à être moins considérable, on peut croire que son hygroscopicité sera presque toujours suffisante, puisque dans quelques cas même, comme on l'a déjà vu, elle peut être une cause d'erreur. En effet, je suis persuadé que de tous les procédés secs, celui-ci donne les résultats les moins éloignés de la vérité en ozone, surtout si l'on a la précaution de renouveler les bandelettes de six heures en six heures, comme je l'ai fait dans une série d'expériences à part pour me procurer un système de comparaison aussi dégagé que possible de l'influence doublement vicieuse de la cause physique H — E. Si l'on ajoute à cela qu'elles sont rarement susceptibles de se décolorer par intervalles comme les papiers Jame secs, on comprendra encore mieux comment j'ai préféré pendant longtemps mon procédé par le tellière ioduré au procédé ordinaire; et combien il faut, pour m'y faire renoncer, que je tienne à purger la question ozonométrique du désordre essentiel qu'y jettent les circonstances d'hygrométrie et d'évaporation. Cependant j'ai déjà cité à deux reprises des observations où le procédé V s'est trouvé comme d'autres en défaut, précisément au point de vue de l'hygroscopicité accidentellement insuffisante; et pour qu'il ne reste pas de doute sur la nécessité de modifier profondément les procédés ozonométriques par les papiers, je vais montrer le meilleur de ces procédés encore suspect sous d'autres points de vue, communs d'ailleurs à toutes les méthodes sèches que l'on pourrait imaginer.

L'inconvénient le plus sérieux du papier V est de s'impressionner trop vite et presque irrémédiablement sous l'influence d'un maximum, de sorte que l'on ne peut être sûr que l'accumulation de la couleur soit le résultat de petites actions successives, égales entre elles pour le cas où l'état ozonométrique ne changerait pas dans les douze heures, ou successivement proportionnelles aux variations de l'ozone pour le cas contraire. Pour m'expliquer plus clairement au moyen de trois exemples, je suppose : 1° que dans toute la journée du 3 août 1877, la quantité d'ozone contenue dans l'atmosphère de 6 heures du matin à 6 heures du soir soit restée de 2/10000000, proportion suffisante pour communiquer au papier la nuance 4 sans pouvoir la lui faire dépasser; il y a de fortes chances pour que, dans la plupart des cas analogues, la nuance soit obtenue au bout de six ou sept heures, comme cela s'est passé effectivement le 3 août; les autres heures d'exposition ne produiront presque rien sur la bandelette, qui est pourtant loin d'être épuisée chimiquement; ce n'est pas là une action totale, régulière, parallèle aux variations diurnes de l'électricité, comme celle que l'on doit s'appliquer à obtenir, j'imagine; 2° je suppose encore que de 6 heures du matin à midi, l'atmosphère ait contenu accidentellement 3/10000000 d'ozone, et que dans l'après-midi la proportion soit tombée tout d'un coup à 1/10000000; une bonne observation devrait se traduire finalement par une coloration moyenne de $4 = \left(\frac{6+2}{2}\right)$; cependant le papier se sera imprimé à 5 ou 6 dans les six premières heures, et s'il rétrograde, ce ne sera jamais de 2. C'est sans doute pour cette raison que dans un assez grand nombre de cas déjà signalés plus haut comme exceptions, les bandelettes humides III et IV ont donné de jour, sous l'abri, un résultat inférieur à la bandelette V. Les bandelettes III et IV n'offrent guère l'inconvénient qui vient d'être dit que dans le voisinage de leur épuisement chimique. Ce qui fait voir encore que leur impressionnabilité est plus progressive, c'est qu'en temps ordinaire on peut observer souvent que c'est plutôt entre 2 heures et 6 heures du soir qu'elles se teintent très sensiblement, indication conforme à la marche diurne de l'électricité atmosphérique et à l'origine probable de l'ozone. 3° Je suppose enfin que l'atmosphère très sèche contienne au contraire 1/10000000

d'ozone le matin et 3/10000000 dans la relevée; le papier convenablement humide le matin se teintera bien jusqu'à 2 ou 2.5; mais après midi il sera déjà trop sec et l'atmosphère ne lui fournira pas la quantité d'eau voulue pour marcher jusqu'à 6 comme il devrait le faire; en définitive, on n'obtiendra guère que 3.5.

Je viens de parler plus haut d'un phénomène de décoloration que présenteraient fréquemment les papiers I et II déjà impressionnés. Ainsi, non seulement ces deux procédés sont souvent impuissants dans un milieu défavorable, non seulement leurs indications, surtout dans les périodes froides et humides, ne peuvent jamais être rapportées en totalité à l'ozone vrai, mais encore ils peuvent fausser par voie de décomposition inverse entre l'iodure d'amidon et la potasse la teinte définitive à laquelle on devrait arriver. J'ai constaté en effet un très grand nombre de fois qu'une exposition prolongée au delà de douze heures diminue très notablement la teinte acquise pendant la première période. Or il est extrêmement probable que ce phénomène peut aussi bien se passer dans les douze premières heures, sous l'influence soit d'une lumière trop vive pendant le jour, soit pendant la nuit d'une trop grande humectation coïncidant avec un minimum d'ozone. Pour être impartial, il faut ajouter que les papiers III et IV sont loin d'être à l'abri de cette cause d'erreur. C'était un grave obstacle à l'institution du procédé humide que je propose; on va voir plus loin dans l'exposition générale de la nouvelle méthode comment je suis arrivé à le supprimer.

Mais d'abord quelques autres mots sur cet arrêt ou cette rétrogradation des teintes ne sont pas inutiles pour bien en mettre en évidence la réalité, la théorie, les causes matérielles et l'influence altérante sur les indications des bandelettes ioduro-amidonnées, quelles qu'elles soient. Voici une autre collection d'observations particulières, en premier lieu sur les papiers Jame, puisque ce sont eux qui présentent au plus haut degré la susdite propriété. Lorsque sous l'abri du vasistas, par exemple, l'état hygrométrique et l'état ozonométrique apparent sont assez stables pendant plusieurs jours, et que le second est déjà assez fort pour impressionner de 5 à 6 les papiers tellière renouvelés toutes les six heures, si l'on examine comment se comporte une bandelette Jame maintenue à l'exposition pendant plusieurs périodes de douze heures, on voit qu'elle a beaucoup de peine à arriver au quatrième ton de la gamme après avoir subi maintes petites dégradations, et qu'elle ne peut dépasser cette teinte. Aussitôt que la puissance de l'ozone s'élève subitement à 8.5 ou à 9, la bandelette revêt une nouvelle nuance de 6 ou 6.5 en deçà de laquelle elle continue à osciller semblablement à ce qui vient d'être dit. Il y a donc pour une proportion déterminée d'ozone, dans l'espace et dans le temps, une coloration maximum du papier Jame indépendante du temps dans de certaines limites, et qui peut rester très éloignée des tons que chimiquement elle est susceptible d'acquérir. Réciproquement, si lors d'une première exposition la bandelette I est arrivée d'emblée à 6 ou 7, le papier V ayant marqué de 8 à 9.5, et que lors des expositions suivantes, la puissance ozonométrique vienne à baisser un tant soit peu pendant qu'augmente H — E, non seulement la teinte du papier Jame réexposé se met en rétrogradation, mais elle peut descendre plus bas que la teinte acquise pendant chaque période correspondante par une bandelette neuve qui n'a pas sans doute eu le temps de s'humecter assez pour subir elle-même une réaction inverse. Les résultats du dernier genre peuvent être bien plus remarquables encore quand on les cherche en plein air, à une époque où l'humidité est extrême, très peu chargée d'électricité, et contient le moins d'oxygène en dissolution. Pour ne citer qu'un cas parmi le grand nombre de ceux que j'ai notés, dans la nuit du 16 au 17 novembre les papiers I et V étaient arrivés à 6.5; à 6 heures du matin, on laisse le premier encore dehors, et l'on expose encore comme d'habitude deux bandelettes neuves, une de papier Jame, une de papier tellière; à 6 heures du soir, le papier V neuf marquait 5.5, le papier I neuf marquait 3.5 sans humectation et le papier I ancien était presque complètement décoloré! L'impuissance des

agents producteurs de l'iodure d'amidon à colorer entièrement au delà d'un certain équilibre entre Am KI, O, et *aq* d'une part, Am I, KO et *aq* d'autre part, à colorer continuement, dis-je, les papiers sensibilisés par l'iodure de potassium, s'étend aussi aux bandelettes V quand même celles-ci sont mouillées à chaque nouvelle réexposition de douze heures. Je suppose qu'hier de 6 heures du matin à 6 heures du soir, l'un de ces témoins se soit nuancé à 7, qu'à 6 heures du soir je l'aie réexposé après l'avoir mouillé en même temps qu'un neuf, et que ce matin nous ayons trouvé encore au dernier la nuance 7; véritablement s'il n'y avait pas eu tendance à la réaction inverse, on pouvait espérer trouver sur le papier réexposé l'une des nuances 11 ou 12 ou au moins la nuance 10; cependant il ne marquait pas plus de 7.5 ou de 8. Si la nuance revêtue d'emblée pendant la première exposition avait été de 9 à 10, la bandelette n'aurait même rien acquis pendant n'importe quel nombre de périodes de même influence ozonométrique. Du moment où les faits se passent de la sorte pour des intervalles considérés de douze heures en douze heures, qui pourrait affirmer qu'ils se passent autrement, seulement avec un peu moins d'évidence, pour des intervalles plus courts, et par conséquent où est la certitude que l'action définitive de l'ozone sur les papiers amylo-iodurés soit la somme de petites réactions successives ou même une moyenne plus ou moins acceptable d'actions directes et d'actions inverses? Nonobstant, les papiers tellière, grâce à la grande quantité d'amidon qu'ils contiennent, ne subissent pas la rétrogradation aussi fortement et aussi fréquemment que les papiers perméables; on n'observe nettement ce phénomène sur les bandelettes V réexposées, que par de fortes tensions de vapeur d'eau atmosphérique, à partir de 12 millimètres, et encore le plus souvent lorsque ces très fortes tensions durent depuis un certain temps, probablement parce que l'atmosphère assombrie, lavée pendant quelques jours, ne fournit plus à l'eau autant d'oxygène actif à dissoudre. Je n'ai vu qu'une seule fois par trois périodes consécutives de 8 — 5 et — 6, un papier tellière réexposé passer de 8 à 7 et de 7 à 6. Jamais ces bandelettes ne descendent, de dégradations en dégradations, au-dessous de la teinte acquise par la bandelette neuve pendant une période donnée. Avec les dispositifs III et IV la cause physique extérieure H — E n'étant d'aucune influence pour la production de l'iodure d'amidon, les colorations et rétrogradations ne peuvent être que sous la dépendance des augmentations ou diminutions d'ozone par rapport à l'alcali; par conséquent, en appelant *q* une masse d'ozone prépondérante sur KO et *q'* une masse relativement inférieure à la même base, si la différence $qt - q't'$ reste positive, la teinte définitive du papier peut représenter à la rigueur une sorte de résultante entre l'action première de l'ozone et l'action régressive de KO; mais si la période de rétrogradation, de trois à quatre heures par exemple, a suffi pour ramener à zéro une bandelette arrivée à 4 ou 5 pendant les huit ou neuf premières heures, il est évident qu'en marquant néant, on perdra une notable quantité d'ozone de la plus grande partie de l'intervalle de douze heures, à moins qu'on n'ait pu suivre d'instants en instants ces mouvements de teintes. Je dois dire que dans la pratique ce dernier cas est fort rare, mais il suffit à mon sens que le fait soit possible théoriquement pour que le procédé doive être corrigé aussi bien que les autres. D'une manière générale, il est incontestable que la réaction de l'ozone sur KI en présence d'Am et A*q* a très souvent des limites fort bornées au delà desquelles la masse de KO, *aq*, devenant prépondérante, fait revenir en totalité ou en partie le système Am I + KO au système Am + KI + O; et la seule conclusion logique à tirer de cela, c'est que pour des recherches plus précises, *il faut s'adresser absolument à un iodhydrate dont la base soit volatile et peu active sur l'iodure d'amidon.*

Il résulte en somme de tous ces essais comparatifs et des diverses considérations exposées jusqu'à présent dans le cours de ce mémoire, que le plus grand nombre d'avantages théoriques est acquis aux procédés humides, avec cette autre restriction toutefois que le papier III ne présente pas tout à fait assez d'iodure à l'action de l'ozone

atmosphérique. En outre, l'insuffisance de la matière amylacée elle-même vis-à-vis KI fait encore que les papiers III et IV se colorent le plus souvent en un jaune orangé très difficile à comparer avec les tons de la gamme que l'on a habituellement entre les mains. Enfin, les bons résultats donnés par le papier IV démontrent bien que l'on gagne en exactitude à forcer un peu la dose d'iodure; mais le procédé en lui-même, tel qu'il est décrit, ne m'a paru nullement pratique, surtout à un point de vue qui n'a pas tardé à se présenter devant moi, celui de faire servir l'évaporomètre d'appareil à exposition pour le papier ozonométrique. Bref pour arriver à perfectionner un peu l'usage du papier amylo-ioduré, il y avait ces quatre difficultés principales à vaincre : 1° anéantir l'influence du rabat qui frappe les papiers perméables mouillés; 2° forcer le papier à s'impressionner progressivement et totalement, c'est-à-dire proportionnellement à la durée de l'exposition en même temps qu'aux modifications en tous sens de la richesse de l'air en ozone; 3° donner au papier une préparation telle que l'on obtienne toujours malgré l'humectation une couleur vive du violet à l'indigo; 4° empêcher la bandelette de subir la rétrogradation des teintes, ou l'arrêt, tant qu'il y a de l'ozone dans l'air. Après d'assez nombreux tâtonnements dont il serait trop long de présenter les phases et sur lesquels je ne placerai que quelques mots tout à l'heure, je crois être arrivé à combler aussi bien que possible ces divers désidérata en préparant le papier de la manière suivante :

On commence par se procurer un hydrolé d'amidon aussi saturé que possible; pour cela on choisit la fécule de pomme de terre, dont les grains moins ténus que ceux de l'amidon de blé peuvent être attaqués plus facilement par le pilon; on en pèse une vingtaine de grammes que l'on triture vivement, dans un mortier de porcelaine préalablement chauffé, avec 400 grammes d'eau distillée portée à la température de 75 degrés centigrades. Il faut avoir soin de ne pas dépasser cette température, sans quoi l'amidon prendrait la constitution moléculaire dans laquelle l'iode le fait virer au rouge. Il est inutile de chauffer la fécule en même temps que l'eau jusqu'à 75 degrés; cette manœuvre paraît donner d'abord un liquide filtré plus opalin, mais l'amidon ainsi entraîné ne reste pas en solution ni en suspension. Donc, après quelques minutes de la trituration ci-dessus, on jette sur un grand filtre ordinaire des laboratoires, et on laisse bien égoutter. D'autre part, on fait une solution de proto-iodure de fer que l'on traite par un grand excès d'ammoniaque, et que l'on ne filtre ensuite qu'au bout de vingt-quatre heures; le poids d'iode traité primitivement par le fer réduit, et la quantité de liquides employés, y compris les eaux de lavages, sont tels que la solution ammoniacale d'AzH^4I contienne 4 p. o/o de ce dernier sel. Au moment où l'on veut sensibiliser son papier, on mélange à parties égales l'hydrolé d'amidon et la liqueur d'iodure d'ammonium, ce qui donne une solution à 2 p. o/o maintenant, mais presque aussi riche en iode qu'un liquide analogue à 2.5 p. o/o d'iodure de potassium, et sur laquelle l'ozone atmosphérique laisse des traces bien plus énergiques, comme je vais le montrer. Le papier que l'on immerge est du Berzélius très blanc; après l'avoir laissé pendant une heure environ et à l'abri de l'air dans la solution, on le transporte dans un grand bocal hermétiquement fermé au fond duquel est une couche de chlorure de calcium fondu. Quand on juge l'eau et l'ammoniaque enlevées, on retire le papier, on le découpe rapidement en petits rectangles, que l'on conserve enroulés en petits paquets dans une enveloppe, puis dans un flacon bien clos. Pour l'exposition on transforme les petits rectangles en cartouches cousues que l'on glisse sur un cylindre médiocrement perméable à l'eau, et maintenu très légèrement humide.

De plus, ce genre d'ozonométrie ne peut que gagner en précision à ce qu'une demi-obscurité règne autour de la cartouche amylo-iodurée ; à ce qu'elles soient renouvelées quatre fois par jour au lieu de deux, sauf à fondre ultérieurement en un seul, d'une part les intervalles de 6 heures du soir à minuit et de minuit à 6 heures du matin,

d'autre part, ceux de 6 heures du matin à midi et de midi à 6 heures du soir; enfin, à ce que les teintes ne soient cherchées qu'après la dessiccation spontanée de la cartouche dans une boîte matelassée de papier à filtrer.

Étant admis que les cartouches sensibilisées à la fécule et à l'iodure d'ammonium soient présentées toutes prêtes à l'observateur, comme l'est le papier Jame dans le petit nécessaire ozonométrique ordinaire, je repousse facilement l'objection que la méthode que je propose paraît un peu trop compliquée. Il est facile de voir au contraire qu'une fois le double appareil à évaporation et exposition installé, la manœuvre des papiers ozonoscopiques se réduirait en définitive, si l'on voulait, à une pose des plus simples et à la recherche de la teinte avec la gamme et le chromoscope, sans le secours d'aucun autre accessoire.

Mais avant de passer à la description définitive du dispositif que je voudrais voir adopter pour l'appréciation de l'ozone vrai par les papiers ioduro-amidonnés, il ne me paraît pas hors de propos de montrer brièvement par quelles expériences j'ai été amené à fixer en dernier lieu mon choix sur l'iodure d'ammonium comme matière sensible, et sur une solution de ce dernier sel titré à 2 p. o/o plutôt qu'au-dessous ou au-dessus. D'abord on n'a qu'à se rappeler ce qui a été dit plus haut sur l'action régressive de la potasse mise en liberté, pour voir que l'iodhydrate d'ammoniaque était théoriquement le seul indiqué. Lorsque ce sel est décomposé par l'oxygène actif de l'atmosphère, sa base peut être éliminée presque au fur et à mesure de sa séparation et ne peut avoir dans tous les cas qu'une action inverse excessivement faible sur l'iodure d'amidon :

$$Am + AzH^4I + O = AmI + HO + AzH^3.$$

D'ailleurs on peut s'assurer, même dans un verre à expériences où l'on vient de faire de l'iodure d'amidon, que, pour décolorer complètement le liquide, il faut verser une très grande quantité d'ammoniaque dissoute, tandis qu'il suffit de quelques gouttes d'une solution assez faible de potasse pour arriver à ce résultat. Maintenant, de très nombreux essais comparatifs faits en plein air et sur des cylindres poreux également humides entre le Berzélius sensibilisé par l'hydrate d'iodure potassique amidonné et le Berzélius sensibilisé par l'iodure ammonique amidonné ont confirmé parfaitement les espérances que j'avais fondées sur le dernier comme pouvant corriger ce que je trouvais de particulièrement défectueux au premier. Ce serait m'emparer d'instants trop précieux à MM. les membres de ce Congrès que de présenter deux tableaux parallèles, même très résumés, de toutes ces observations. On me saura plus de gré de n'en tracer ici que la conclusion générale, parce qu'elle contient un fait d'une assez haute importance et que les procédés ozonométriques ordinaires sont loin de mettre en évidence. A la condition que l'humectation soit extrêmement faible et toujours la même, le procédé à l'iodhydrate d'ammoniaque fournit à quantités égales d'ozone des colorations plus foncées que celui à l'iodure de potassium; il indique des quantités insaisissables d'ozone, vis-à-vis desquelles le procédé avec l'iodure de potassium est impuissant; les papiers ainsi préparés et disposés se colorent non seulement plus vite que les papiers analogues à base de potasse, mais encore plus progressivement, et surtout, point capital, l'on ne constate jamais de rétrogradation ou décoloration, quelle que soit la durée de l'expérience. Enfin les deux derniers procédés humides dont il vient d'être parlé indiquent en moyenne un tiers d'ozone [1] de plus que la méthode Jame sèche, 6.6 au lieu de 4.9, quoique les faibles chiffres et les zéros soient beaucoup plus fréquents. J'appelle l'attention sur ce résultat bien remarquable, je crois, si toutefois

[1] En réalité le Berzélius à l'iodure d'ammonium amidonné donne une proportion encore un peu plus élevée, et la différence s'accentuerait probablement davantage avec un nombre d'observations plus considérable.

mes expériences ne sont pas entachées d'un vice qui m'échapperait aujourd'hui : c'est qu'en somme l'ozone est beaucoup moins abondant dans les circonstances normales que ne tendraient à le faire voir les observations faites jusqu'à présent avec les papiers : ce principe ne me paraît point être de ceux dont les proportions sont soumises à de faibles fluctuations dans l'atmosphère ; à force de tortures, je pense l'avoir contraint à se montrer sous son véritable jour, c'est-à-dire apparaissant et disparaissant presque subitement, augmentant et diminuant en lignes brisées d'une extrême hauteur, formant comme des pics plus ou moins étagés qui reposent sur l'axe des abscisses.

Dans une autre série d'observations, j'ai comparé entre elles, en plein air et sous l'abri du vasistas, des bandelettes tellière exposées pendant douze ou vingt-quatre heures après avoir été imprégnées une fois pour toutes de chacune des cinq solutions suivantes : iodure d'ammonium à 1, 2 et 4 p. o/o ; iodure de potassium à 1 et à 2 p. o/o. Au tableau qui suit, et qui fait bien ressortir la puissance relative de ces témoins, je les désigne par des numéros correspondant aux solutions dans l'ordre indiqué.

RELEVÉ DES TROIS MOIS (FÉVRIER, MARS ET AVRIL 1878).

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	ABRI.								PLEIN AIR.							
	EXPOSITIONS DE 12 H.				EXPOSITIONS DE 24 H.				EXPOSITIONS DE 12 H.				EXPOSITIONS DE 24 H.			
	TEINTES				TEINTES				TEINTES				TEINTES			
	sèches.	après humectation.	maxima.	minima.	sèches.	après humectation.	maxima.	minima.	sèches.	après humectation.	maxima.	minima.	sèches.	après humectation.	maxima.	minima.
Papier Jame.....	3°4	4°5	8°5	0°0	3°1	4°4	8°0	0°0	5°4	7°2	10°0	0°0	5°8	7°9	11°0	2°5
Bandelettes 1..	7 1	10 6			8 0	11 9			8 2	11 2			9 1	12 3		
Bandelettes 2..	7 4	11 0	12 5	8 5	8 4	12 5	14 0	10 0	8 5	11 8	13 0	9 0	9 4	12 6	14 5	10 0
Bandelettes 3..	7 4	10 8			8 2	12 3			8 5	11 6			9 3	12 5		
Bandelettes 4.	5 7	6 9	10 0	2 5	7 1	8 4	10 0	5 5	7 2	8 3	10 5	5 0	8 1	9 6	11 0	6 5
Bandelettes 5..	6 0	7 1			7 4	8 9			7 4	8 6			8 3	9 7		

Dans ce tableau, la première colonne de chacune des quatre principales divisions représente la moyenne des teintes sèches; la deuxième représente la moyenne des teintes après humectation; la troisième représente les plus fortes teintes qu'on ait obtenues dans les trois mois (après humectation), et la quatrième les plus petites. Je ne considère pas les observations fournies par l'iodure d'ammonium comme absolument meilleures, avec ce dispositif, que celles fournies par l'iodure de potassium; elles ne font qu'indiquer que le premier sel sensibilise les papiers amidonnés bien plus sûrement que ne le fait le second sel; je n'ai pas voulu d'ailleurs leur faire dire autre chose. Quant aux solutions d'iodure d'ammonium entre elles, on voit qu'elles se comportent à peu près de la même manière, mais que le liquide à 2 p. o/o paraît cependant offrir un léger avantage sur les deux autres; dans tous les cas, cette proportion est largement suffisante.

Du moment où je me suis proposé de faire avec les modifications qui ont été dites plus haut, de l'ozonométrie un peu plus méthodique que celle qui a été pratiquée jusqu'à présent, j'ai bien vite pensé à me servir de la même surface pour l'évaporation et l'installation du papier ozonoscopique. Les conditions à remplir étaient : que le renou-

vellement continuel de celui-ci fût commode sans entraver ou vicier un seul instant la marche de l'évaporation; que la bande iodurée ne fût pas en contact assez proche avec l'eau elle-même pour lui donner de la salinité et de la couleur; que le liquide offert à la surface d'évaporation fût toujours de l'eau assez pure pour que son changement d'état ne fournît pas d'action électrique; que le papier humecté ne fût pas dans la verticale pour que le réactif liquéfié ne fût pas divisé inégalement sur la surface à impressionner; enfin que l'appareil ne perdît pas par une trop grande complication l'avantage de servir dans les meilleures conditions de précision à deux sortes d'expériences météorologiques. Par la même raison, il était à désirer que l'évaporomètre fût un progrès sensible sur les tubes verticaux dont on se sert ordinairement. Comme les méthodes employées par la mesure de l'évaporation doivent être étudiées d'une manière préparatoire dans ce Congrès, je m'étendrai un peu plus à ce moment-là sur la critique de celle qui est généralement suivie, et j'exposerai alors le procédé dont je me sers à ma grande satisfaction depuis quelque temps. Mais la méthode ozonométrique que je veux préconiser se trouve tellement liée matériellement à la question atmismométrique, par le fait même du dispositif, qu'il m'est bien difficile de parler de l'une sans dire éventuellement quelques mots de l'autre. Bref, dans le but de satisfaire au mieux à toutes les conditions énumérées ci-dessus, voici d'abord l'appareil assez simple, assez maniable et très sensible que j'ai fait construire par MM. Alvergniat. Je voulais lui donner un nom rappelant à la fois les deux usages auxquels je le destine, et je m'étais arrêté pendant quelque temps à celui d'*atmidozonomètre;* mais je reconnais que cette dénomination simple est longue et peu harmonieuse, et je me contente provisoirement de celle d'*évaporomètre-ozonoscope.*

Il se compose d'un tube de verre parfaitement calibré, évasé par le bas en ampoule ovoïde à deux tubulures. Au sommet est un bouchon à l'émeri entouré d'une bague de caoutchouc pour la fermeture hermétique, à volonté, de la partie supérieure, fermeture qui doit s'arrêter à quelques millimètres au-dessus de la graduation. Le tube de verre a un diamètre intérieur de 6 millimètres et une hauteur de 353 millimètres et demi, ce qui donne très approximativement un volume de 11 centimètres cubes. Le susdit volume est divisé en 440 parties égales par des traits nets et parfaitement équidistants; de 20 en 20 divisions sont des traits un peu plus longs, vis-à-vis desquels on a gravé successivement, et sans autres indications, de haut en bas, les chiffres 1, 2, 3, etc., jusqu'à 22. Chacune de ces 22 grandes divisions représente donc un demi-centimètre cube et chacune des 20 petites subdivisions un quarantième de centimètre cube; on va voir qu'avec la surface d'évaporation de 50 centimètres carrés qui est offerte, une subdivision représente $\frac{1}{200}$ de millimètre. Les deux tubulures de l'ampoule ovoïde sont parfaitement dans le prolongement l'une de l'autre; leur diamètre intérieur est de 20 millimètres et leur longueur ne dépasse pas 24 ou 25. On y introduit un petit tube de verre garni de caoutchouc de manière à pouvoir y entrer à frottement de chaque côté et à laisser libre une ouverture du diamètre de 16 millimètres. Une baguette de matière perméable de 16 millimètres de diamètre et de 184 millimètres de longueur est coupée en deux et engagée dans ces deux petits tubes de verre de manière à ressortir d'un peu moins de 46 millimètres de chaque côté. Le plus simple calcul fait voir qu'avec ces dimensions, la surface émergente est de 25 centimètres carrés de chaque côté. Quant aux matières perméables à employer, c'est un sujet à traiter spécialement dans la question de l'évaporation. Je me contente de dire ici, pour ce qui concerne le dispositif ozonoscopique, que dans tous les essais que j'ai faits avec les papiers humides, les baguettes poreuses dont je me suis servi étaient en terre extrêmement cuite, mais restant analogue à la terre d'alcarazas, et fabriquée par moi-même. J'ai fait usage aussi de bouchons confectionnés avec du feutre blanc pour pianos, mais la préparation de ceux-ci offre quelques difficultés; ils ne peuvent s'entretenir aussi propres,

et une humidité constante les met très vite hors de service. La partie inférieure du tube ampoulé s'engage au moyen d'un caoutchouc dans le canal un peu large d'une sorte d'entonnoir à robinet, en verre doublé de laiton, qui est fermé à la partie inférieure par un couvercle à vis, et qui se trouve renversé, formant pied, lorsque l'appareil est monté. Le canal de la partie pleine de l'entonnoir en verre s'accorde exactement, d'une part avec le tube, d'autre part avec le canal vertical creusé dans le robinet. La raison d'être de ce récipient inférieur est facile à comprendre : à cause de la grande sensibilité qui est donnée à l'appareil, au point qu'une évaporation nychthémérale de 3 millimètres par exemple, peut être suivie de deux minutes en deux minutes, la portion graduée du tube supérieur ne peut fonctionner que pour 2 millimètres d'évaporation. Mais lorsque l'eau sera descendue à la division 22, il suffira de retourner l'appareil, d'ouvrir le robinet inférieur, de le refermer et de remettre l'instrument en place, pour que le tube soit rechargé; cette manœuvre m'a paru plus sûre et plus expéditive que le remplacement de l'eau par l'enlèvement du bouchon.

Si les idées que j'ai présentées comme conclusion dans ce mémoire devaient être mises en pratique, le nécessaire mis à la disposition des observateurs contiendrait toutes prêtes, non seulement les cartouches ioduro-amidonnées à base AzH^3, mais encore d'autres cartouches à l'iodure de potassium et au tournesol rougi : et comme le dispositif modifie de fond en comble les recherches ozonoscopiques, il y serait joint une échelle spéciale de tons dressée avec soin à l'usage du procédé. D'un côté de cette échelle seraient les teintes en tournesol, de l'autre les teintes en iodure d'amidon. A côté du numéro de chaque ton une parenthèse indiquerait la proportion pondérale d'ozone correspondant à la nuance. Il est facile d'obtenir cette donnée en faisant des analyses d'air concurremment avec la recherche par les papiers. Enfin, pour que le bénéfice des expériences acquises ne fût même pas totalement perdu, un petit chiffre suivi de la lettre *j* donneraient la correspondance de chaque nuance avec celle que l'on aurait obtenue par le procédé Jame. Il va sans dire que le nécessaire de l'évaporomètre-ozonoscope serait pourvu encore du petit livret dit chromoscope, et de quelques baguettes perméables de rechange. C'est là que se sont arrêtées jusqu'à présent mes recherches sur une nouvelle méthode ozonométrique moins défectueuse que la méthode Schœnbein-Jame ordinaire : les ressources matérielles dont je puis disposer à Lorient ne me permettant pas de faire davantage.

Dans ces conditions diverses, non seulement les observations ozonométriques acquerraient, ce me semble, une grande valeur, qui leur manque actuellement, mais encore le manuel opératoire resterait tout aussi peu compliqué.

En résumé, l'évaporomètre-ozonoscope étant chargé d'eau distillée et mis en place, on glisserait d'un côté sur une des baguettes perméables une cartouche de tournesol iodurée, de l'autre une cartouche ioduro-amidonnée à base AzH^3; six heures après on les enlèverait, et on les placerait successivement dans la seconde page du chromoscope ouvert; puis on porterait le livret sur le côté voulu de l'échelle, et on chercherait à travers la fenêtre du premier feuillet la nuance de la gamme qui se rapproche le plus de celle de la cartouche. En même temps, on lirait sur la portion graduée du tube l'évaporation de la période écoulée. Il ne faudrait pas plus de deux minutes pour obtenir ainsi deux bonnes observations météorologiques.

ANNEXE N° 18.

SUR LA VALEUR DES PAPIERS OZONOSCOPIQUES IODURO-AMIDONNÉS,

PAR M. LE DR G. DAREMBERG (DE MENTON).

Les intéressantes communications que MM. Louvet et Borius viennent de faire devant vous vous ont prouvé que, pendant vingt-cinq ans, en croyant observer l'ozone, on avait observé toutes autres choses. Ces choses, ces éléments, sont fort différents, fort variables; mais au milieu d'eux un seul domine : c'est la vapeur d'eau. Maintenant il est donc un fait incontestable, c'est que le papier dit ozonoscopique indique bien plus les variations de l'hygrométrie que celles de l'ozonométrie.

Cependant je crains que, malgré ces faits si importants, les partisans quand même du papier ozonoscopique, les ozonisants, ne veuillent pas avouer leurs erreurs, et il est à supposer qu'ils périront dans l'impénitence finale. En effet, ils ont une si singulière manière de raisonner qu'ils ne céderont jamais, quelques objections qu'on leur présente. Dès qu'on leur indique une nouvelle cause d'erreur de leur procédé, ils vous répondent qu'ils savent parfaitement que leur procédé est défectueux, mais que, malgré tous ces défauts, il peut donner des renseignements utiles à la météorologie, à l'hygiène et à la santé publique. Eh bien! je plaindrais de tout cœur la météorologie et l'hygiène, si elles étaient réduites à user de méthodes aussi peu scientifiques et j'aurais grand'peur pour la santé publique si elle dépendait d'observations aussi incertaines. Quand on observe le papier ioduro-amidonné, on ne sait pas ce que l'on observe, et avant de tenter de pareilles investigations il faudrait connaître dans ses moindres détails la composition si complexe et si variable de l'atmosphère.

L'ozonoscopie par les papiers est jusqu'ici une question de foi. Elle ne repose sur aucune base sérieuse. Les ozonisants sont très fiers de pouvoir dire : Nous vous apportons vingt-cinq années d'observations qui démontrent qu'il y a une relation évidente entre les courbes ozonoscopiques et les courbes hygrométriques. Apportez-nous vingt-cinq ans d'observations contraires; sinon les faits sont les faits. — Cet argument est sans valeur. Dire les faits sont les faits, c'est dire : La force prime le droit. Un fait ne devient une preuve que lorsqu'on a déterminé sa juste valeur par une interprétation minutieusement raisonnée. Tout le monde avait vu une pomme tomber d'un arbre depuis qu'il y avait des pommes et des hommes, et cependant il a fallu que Newton vînt pour expliquer ce phénomène. Je ne voudrais certes pas comparer MM. Louvet et Borius à Newton, ni l'ozone à l'attraction universelle; mais il n'en est pas moins certain que nos honorables collègues viennent de nous montrer pourquoi les deux courbes de l'ozone et de l'hygrométrie se suivent presque pas à pas. Pendant vingt-cinq ans on a cru dans l'ozone et on s'est contenté de doser de l'eau pure. Ces vingt-cinq ans d'observations n'ont donc aucune valeur, et on peut répéter aux ozonisants ce qu'Alceste disait à Oronte : «Voyons, monsieur, le temps ne fait rien à l'affaire.»

Il est certain que si l'on jugeait les observations au poids, M. Louvet, M. Borius et

moi, nous serions absolument vaincus. Mais fort heureusement la science ne raisonne pas de cette façon, et dans la question des papiers ozonométriques elle ne voit qu'une réaction chimique dont il s'agit d'étudier la valeur.

Les faits si intéressants que M. Louvet vous a rapportés, vous ont montré quelle immense cause d'erreur la vapeur d'eau venait apporter dans la réaction ozonoscopique. On savait du reste déjà qu'en présence de l'eau l'air ozonisé impressionnait beaucoup plus les papiers à cause de la solubilité de l'ozone dans l'eau. Cependant cette concordance des courbes de l'ozone et de la vapeur d'eau n'est pas toujours exacte. C'est ainsi qu'au bord de la mer l'ammoniaque en présence de l'ozone s'empare de ce corps pour former de l'azotate d'ammoniaque, qui n'impressionne pas le papier ozonoscopique. Cette influence sera d'autant plus considérable qu'il y a une plus grande quantité d'alcali volatil dans l'air marin.

Les recherches de M. Boussingault, de M. Marchand, de M. Dieulafait, montrent que ces proportions peuvent atteindre un chiffre assez élevé. Aussi est-ce pour cette raison que dans nos expériences faites à Menton, nous n'avons trouvé aucun rapport entre ces deux facteurs atmosphériques. Cette exception indique encore une nouvelle cause d'erreur de ce procédé.

Nos observations consignées dans une note insérée dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, le 13 mai 1878, montrent que par l'action de différents corps contenus dans l'atmosphère la réaction dite ozonoscopique peut être détruite après sa formation; que d'autres fois elle ne peut se manifester lorsqu'elle existe véritablement et qu'enfin elle peut se produire en dehors de toute existence d'ozone; qu'enfin l'impression graduelle des quantités successives d'ozone développé ne se fait dans aucune proportion définie; et qu'ainsi, en dehors de toute cause d'erreur, on ne peut avoir aucune indication sur la quantité maxima d'ozone développée à un moment déterminé.

Mais en dehors de toutes ces considérations, depuis longtemps, MM. Chatin, Frémy, Cloëz, Houzeau, Berthelot avaient successivement démontré l'inexactitude des papiers ioduro-amidonnés. En effet, ils sont influencés par l'iode, le chlore, le brome, certaines essences volatiles, les azotites et l'acide azoteux, l'eau oxygénée en présence de l'oxygène de l'air. Nous avons vu d'autre part que l'ammoniaque s'emparait de l'ozone et l'empêchait de manifester sa présence. Enfin, M. Ogier a montré que l'ozone, en présence de l'iode, donne naissance à l'acide iodique, à l'acide hypoiodique et à un précipité jaunâtre qui ne se décompose en iode et acide iodique que sous l'influence d'une grande quantité de vapeur d'eau. (Académie des sciences, 19 nov. 1877.) Cette dernière réaction empêchera donc la manifestation dite ozonoscopique dans la plupart des cas, et celle-ci ne sera guère évidente que dans une atmosphère humide.

Telles sont les nombreuses et importantes causes d'erreur du procédé incriminé. Si les ozonisants veulent bien ne pas regarder la science des petits papiers comme un dogme, je pense qu'ils devront renoncer à leur procédé. Cependant comme il est pénible de jeter à la mer un bagage de vingt-cinq ans, avec lequel on peut sans peine et sans fatigue intellectuelle construire des tableaux, des courbes, et même de gros mémoires, nos adversaires se retranchent derrière un dernier argument. Vous prétendez, disent-ils, que les réactions chimiques infirment notre procédé. Mais à l'Observatoire de Montsouris on a trouvé que les nombres donnés par le papier et ceux formés par le dosage de l'ozone, en poids, à l'aide de l'arsénite de potasse, pouvaient se comparer entre eux. Cet argument n'a aucune valeur, car on sait que l'arsénite de potasse est un sel éminemment instable et s'oxyde sous l'influence de bien d'autres éléments que l'ozone. Jusqu'ici on ne connaît pas de réaction chimique qui puisse servir de criterium absolu pour le dosage de l'ozone.

Aussi dans l'état actuel de la science, quand on observe l'ozone par le papier ioduro-amidonné, on ne sait pas ce que l'on observe. Car il existe dans l'atmosphère des

corps qui donnent la même réaction que l'ozone, d'autres qui détruisent les effets de cette réaction quand elle a été produite, et même qui, par leur présence, empêchent la réaction de se former dans un milieu propre à son développement. La recherche de l'ozone ne repose sur aucune base scientifique. Placés entre trois ordres d'erreurs, qui se dressent devant nous à chaque pas, il est impossible de se faire une idée même approximative du phénomène que l'on cherche à observer. Si l'on avait affaire à une méthode d'observation erronée, mais dont l'erreur serait toujours de même ordre et facilement appréciable, elle rentrerait dans le cadre de toutes les observations scientifiques. Mais ici, tout est bien différent. Les résultats viciés par des causes d'erreurs éminemment variables ne sont en aucune façon comparables entre eux.

Aussi vaut-il cent fois mieux ne pas faire d'observations que d'en faire de mauvaises. La météorologie pure est assez encombrée d'observations inutiles, sans que la météorologie chimique vienne à son tour l'embarrasser de son contingent. Aujourd'hui, toutes les sciences fondent leur avancement sur la précision des méthodes qu'elles emploient. La chimie météorologique ne peut pas marcher à la queue des autres sciences. C'est en vain que l'on voudrait lui faire adopter des méthodes approximatives, inexactes et enfantines. La chimie ne veut pas de ces méthodes; nous ne voyons pas pourquoi la météorologie trouverait qu'elles sont assez bonnes pour elle.

Un homme d'esprit a dit que l'ozone était le fruit sec de la météorologie. Pour le moment, il a raison.

L'ozone, dès sa naissance, avait été le Benjamin de plusieurs observateurs. Mais depuis on a pu voir que cet enfant plein d'ingratitude avait complètement déçu les espérances de ses pères adoptifs. On croyait que cet élément bienfaisant allait détruire ces funestes germes qui empoisonnent l'atmosphère. Il n'en a rien été; l'ozone est resté fruit sec. Et vous savez ce que l'on fait des fruits secs : on les renvoie en classe. Que l'ozone retourne donc dans le laboratoire et quand il reviendra muni de ses papiers en règle, c'est-à-dire muni de réactions absolument caractéristiques, alors seulement les observatoires météorologiques pourront l'admettre dans le vaste champ de leurs investigations.

Annexe n° 19.

NOTE RELATIVE
À LA MESURE DE L'ÉVAPORATION DE L'EAU,

PAR M. F. ALEXANDRE,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

La mesure de l'évaporation de l'eau est un des problèmes les plus difficiles dont la météorologie ait à rechercher la solution; c'est aussi l'un des moins connus, et cependant il n'intéresse pas seulement les savants; il touche aussi de très près à l'art de l'ingénieur. L'étude des grands travaux relatifs aux voies navigables et au service hydraulique exige en effet des données précises sur l'évaporation; tout récemment encore elle était l'un des éléments les plus importants à considérer dans l'examen de la question si controversée de la mer intérieure projetée en Algérie.

Le problème dans toute sa généralité peut être ainsi posé: Étant données des circonstances climatériques déterminées (température, pression barométrique, vitesse du vent, état hygrométrique de l'air), quelle sera l'évaporation à la surface de l'eau?

La solution n'est peut-être pas aussi compliquée qu'on pourrait le croire au premier abord. Il suffirait, en effet, de réunir un certain nombre d'observations faites pendant des périodes successives de deux ou trois heures par exemple, la température, la pression, le vent et l'état hygrométrique étant notés pendant chacune des périodes, et de grouper ensuite celles de ces observations qui ont des éléments communs pour trouver une formule donnant l'évaporation en fonction des données qui la font varier; la formule ne serait évidemment qu'approximative, mais elle rendrait néanmoins de grands services, alors qu'aujourd'hui encore les évaluations des personnes les plus compétentes varient souvent de simple au double.

La température, la pression, la vitesse du vent et l'état hygrométrique se mesurent très aisément; mais pour l'évaporation, nous ne connaissons pas d'instrument qui la donne d'une manière précise.

Les appareils dont on se sert communément sont : soit des évaporomètres Piche, qui ne donnent pas l'évaporation absolue, et dont les indications ne paraissent même (d'après nos expériences) n'avoir aucune corrélation simple avec l'évaporation réelle; soit des bassins où la hauteur de l'eau, mesurée par des aiguilles, peut donner l'évaporation mensuelle avec une certaine approximation, mais ne peut en aucune manière fournir l'évaporation journalière et encore moins horaire.

C'est pour essayer de combler cette lacune que nous avons fait construire et placer dans la station météorologique, existant au bureau de l'ingénieur du service hydraulique à Angoulême, l'appareil dont nous donnons ci-dessous la description.

Cet appareil a fonctionné sous nos yeux pendant plusieurs mois, depuis juin 1877; les observations se continuent depuis notre départ sous la direction de notre successeur.

Il est d'une manœuvre facile et peut être mis entre les mains d'un observateur ordinaire des stations météorologiques.

Nous donnons ci-dessous, à titre de spécimen, les résultats de quelques journées d'observation; l'anémomètre de la station n'étant pas encore installé, nous n'avons pu faire les expériences comparatives dont nous avons indiqué le principe en commençant.

Nous espérons que d'autres observateurs, mieux outillés et plus libres de leur temps, consacreront quelques loisirs à ces recherches; nous serions trop heureux si nos indications pouvaient faciliter leur tâche.

I

DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

Le bassin d'évaporation est en tôle; il a la forme d'un rectangle de 1^m,50 de longueur sur 1 mètre de largeur et 40 centimètres de hauteur [1]; le fond est tapissé d'une couche de mortier de ciment de 4 centimètres à 5 centimètres d'épaisseur et muni d'une bonde de vidange.

L'appareil est supporté à 1 mètre environ au-dessus du sol par un bâti en charpente et protégé latéralement par un encoffrement en planches peintes en blanc; on a eu soin de ménager, tout autour, une gaine d'air d'une douzaine de centimètres d'épaisseur [2].

Le niveau normal de l'eau est à 5 centimètres en contre-bas des bords; il est nécessaire de laisser ce relief pour éviter toute déperdition pendant les grands vents.

L'observation précise du niveau de l'eau ne peut se faire directement dans le bassin. Parmi les inconvénients que cette manière d'opérer présenterait dans la pratique, nous mentionnerons l'incertitude résultant des oscillations de la surface; les vents les plus faibles produisent une agitation notable, et il serait difficile d'avoir la plupart du temps la hauteur à un millimètre près; par de grands vents, l'observation deviendrait absolument impossible, les oscillations atteignant plusieurs centimètres.

L'adjonction d'un petit bassin permet d'éviter cet inconvénient; en même temps elle facilite les expériences, ainsi qu'il sera expliqué plus loin.

Ce petit bassin dit *bassin de jauge* est circulaire; il a un diamètre de 225 millimètres exactement égal à celui des pluviomètres de l'Association scientifique qui sont maintenant répandus dans toutes les stations météorologiques [3].

Les deux bassins sont réunis par un tuyau de 4 centimètres de diamètre muni d'un robinet; on peut, en l'ouvrant ou en le fermant, établir ou intercepter la communication; si l'on vient à le fermer d'une manière *incomplète*, les oscillations de l'eau dans le grand bassin se transmettent plus difficilement au petit; on arrive facilement en tâtonnant à une position telle que les variations de niveau dans le bassin de jauge deviennent tout à fait inappréciables, bien que la communication ait toujours lieu (ce dont il est évidemment facile de s'assurer). Un trait de repère tracé sur la clef du robinet correspond à cette position extrême, à laquelle il faut toujours revenir au moment de l'ob-

(1) Si l'on ne se trouvait arrêté, soit par la question de poids (celui dont il s'agit est placé sur une terrase peu solide), soit par la question d'argent, il conviendrait de donner au bassin des dimensions plus grandes; celles usitées au canal de Bourgogne, 2^m,50 sur 2^m,50 et 40 centimètres de profondeur, paraissent très convenables et permettent de se rapprocher davantage des circonstances qui se présentent dans la nature.

(2) Il vaudrait mieux, si les circonstances le permettaient, noyer le bassin dans un massif en terre ou en maçonnerie en ayant soin de se ménager les moyens de constater qu'il ne se produit aucune fuite.

(3) Comme il serait peut-être difficile de construire un bassin de tôle exactement calibré, on peut se contenter de placer à l'intérieur d'un cylindre d'un diamètre un peu plus grand une bague exactement tournée à la dimension voulue sur quelques centimètres de hauteur, c'est-à-dire dans l'étendue que peut parcourir dans le sens vertical le niveau de la surface de l'eau.

servation, à moins que l'on n'opère par un calme plat. Un petit robinet permet de vider le bassin de jauge.

Pour observer le niveau de l'eau dans ce petit bassin, on y a placé un flotteur en tôle suspendu à une sorte de fléau de balance dont l'extrémité, terminée en forme d'aiguille, est mobile sur un cadran; le rapport des distances de l'extrémité de l'aiguille et du point de suspension du flotteur au couteau autour duquel s'affectue l'oscillation étant de 1/10, les variations de niveau de l'eau sont décuplées sur le cadran. Le flotteur est maintenu en équilibre par un contrepoids en forme d'écrou que l'on peut faire mouvoir sur le fléau dont l'extrémité a été filetée.

Pour graduer le cadran, on y marque d'abord un trait de repère devant servir de zéro à 2 centimètres environ au-dessus du point correspondant à la position horizontale de l'aiguille [1], puis on remplit d'eau le bassin de jauge jusqu'au niveau normal que l'on a choisi pour point de départ des observations; on ramène l'aiguille au zéro à l'aide du contrepoids.

Les deux bassins étant alors isolés, on fait baisser le niveau de l'eau du bassin de jauge d'un millimètre à l'aide du petit robinet, en recueillant l'eau dans l'éprouvette graduée en dixièmes de millimètre servant aux observations du pluviomètre de l'Association scientifique. L'aiguille baisse d'un centimètre environ; on marque un trait et l'on divise l'intervalle en dix parties égales qui correspondent chacune à un dixième de millimètre de hauteur d'eau; on continue en faisant descendre le niveau d'un second millimètre, et ainsi de suite.

Pour graduer au-dessus du zéro, on opère d'une manière inverse, c'est-à-dire qu'au lieu de faire descendre le plan d'eau on le relève en ajoutant dans le bassin de jauge des hauteurs successives d'un millimètre à l'aide de l'éprouvette.

Le cadran est ainsi gradué de manière à donner les variations de niveau en dixièmes de millimètre de 8 millimètres en dessous à 4 millimètres en dessus [2].

Un curseur mobile le long du cadran permet de marquer la position de l'aiguille à l'origine de chaque expérience, si l'on n'a pas voulu ramener au zéro. Inutile de faire observer que si l'on remplaçait le curseur lisse par un vernier, on pourrait sans la moindre difficulté apprécier le dixième d'une division qui correspondrait à un centième de millimètre; mais l'appréciation d'un dixième ou d'un demi-dixième de millimètre paraît bien suffisante pour un appareil qui n'est pas construit avec la précision mathématique d'un instrument de laboratoire.

L'aiguille et le cadran sont placés dans un petit abri muni d'un châssis mobile en verre comme ceux des ponts à bascule des chemins de fer.

Avant d'indiquer la manière d'opérer, remarquons que *le bassin de jauge avec son flotteur constitue un appareil indicateur de niveau absolument indépendant des dimensions et de la forme du bassin d'évaporation;* il suffit que ce bassin d'évaporation ait des parois verticales pour que le bassin de jauge que nous avons décrit puisse y être accolé.

Mentionnons pour mémoire que le bassin d'évaporation est muni de trois thermomètres, un ordinaire, un à maxima et un à minima. Enfin un pluviomètre du modèle de l'Association scientifique est accolé à l'appareil, à la même hauteur au-dessus du sol.

II

MODE D'OPÉRER.

Le mode d'observation est des plus simples : l'aiguille, ramenée au zéro au commencement de l'expérience, descend à mesure que l'évaporation se produit et l'on peut lire

[1] Afin que le mouvement de l'aiguille s'effectue dans le voisinage de la position horizontale.
[2] Nous n'avons jamais constaté une évaporation journalière atteignant 12 millimètres.

à chaque moment, exprimée en dixièmes de millimètre, cette évaporation sur le cadran divisé.

On pourrait ainsi lire l'évaporation pendant plusieurs jours (quand elle est faible) en se bornant à descendre le curseur pour le fixer en regard de l'aiguille à l'origine de chaque observation; on peut aussi ramener au zéro après chaque lecture, ce qui est très facile au moyen du contrepoids mobile sans addition d'eau. Au bout de quelques jours quand le niveau dans le bassin est devenu trop bas, il faut remplir d'eau pour revenir au niveau initial [1].

S'il a plu dans l'intervalle de deux observations, il suffit d'augmenter le chiffre lu sur le cadran de la hauteur d'eau tombée exprimée en dixièmes de millimètre, telle que la donne d'ailleurs le pluviomètre de l'Association.

Ce procédé n'est pas toujours applicable parce que la hauteur d'eau tombée peut être telle (3 ou 4 centimètres par exemple) que l'aiguille sorte des limites du cadran; aussi vaut-il mieux opérer de la manière suivante :

Fermer la communication entre les deux bassins, faire descendre le niveau du bassin de jauge en écoulant par le petit robinet et en recevant dans l'éprouvette de l'Association la hauteur d'eau tombée et lire ensuite sur le cadran. Il est évident que l'on a ainsi l'évaporation réelle immédiatement corrigée, c'est-à-dire déduction faite de la pluie dont on s'est débarrassé.

Nous pourrions presque nous borner aux explications qui précèdent, si l'évaporomètre avait seulement pour but de mesurer en bloc l'évaporation annuelle de l'eau; mais comme il est surtout destiné à des observations d'une certaine précision, capables de mettre en relief les influences diverses qui agissent sur le phénomène, nous devons examiner avec quelques détails les causes d'erreur de l'appareil et les corrections qu'elles nécessitent dans les résultats des observations.

III

CORRECTIONS.

§ 1er. *Erreurs dues à la chaleur.* — Si la température était la même au début et à la fin de chaque expérience, il n'y aurait évidemment pas à s'en préoccuper; il n'en est généralement pas ainsi; l'écart peut être considérable, surtout l'été [2], et on ne peut le négliger.

L'influence de la chaleur sur l'évaporation est assez complexe; nous allons examiner successivement son action sur les parois du bassin et sur l'eau qu'il contient [3].

Nous appellerons S la surface du bassin d'évaporation, h la hauteur normale de l'eau, H la distance comprise entre le fond du bassin et le dessous du flotteur (distance évidemment constante pour un même appareil toutes les fois que l'on ramène l'aiguille au zéro du cadran, soit en ajoutant de l'eau, soit en faisant mouvoir le contrepoids), P le poids du flotteur dans l'air, B la section de sa base, t et t' les températures au commencement et à la fin d'une expérience, k et k' les coefficients de dilatation du fer (linéaire) et de l'eau (cubique).

(1) On pourra ne pas avoir à ajouter d'eau pendant plusieurs semaines, même en été, si les pluies viennent rétablir le niveau primitif à mesure que l'évaporation tend à le faire descendre.

(2) Nous avons observé en été (1877) 10 degrés environ de 6 heures du matin à midi.

(3) Nous ne tiendrons pas compte de l'action de la chaleur sur le volume contenu dans le bassin de jauge; comme il ne s'agit que de corrections, l'erreur commise serait en quelque sorte du second ordre et tout à fait négligeable.

1° *Dilatation du bassin.* — Quand les parois passent de la température t à la température t', la tôle se dilate; la surface du bassin devient

$$S[1+2k(t'-t)].$$

Le volume de l'eau étant constant, la hauteur qui était h devient h', telle que

$$S[1+2k(t'-t)]h'=Sh,$$

d'où

$$h'=\frac{h}{1+2k(t'-t)}=h-h\times 2k(t'-t),$$

en négligeant les puissances de k.

Si donc la chaleur agissait sur la capacité du bassin seulement, les hauteurs d'évaporation lues sur le cadran devraient être diminuées de la quantité $h\times 2k(t'-t)$.

Il serait plus exact de les réduire seulement de

$$H\times 2k(t'-t).$$

En effet, si nous considérons la partie immergée du flotteur en tôle, partie dont la hauteur est $h-H$, il est clair que l'action de la chaleur a pour effet d'augmenter le volume déplacé (si t' est plus grand que t), et par suite d'amener un relèvement de l'aiguille.

Si l'on appelle d la densité de l'eau que nous supposerons constante (sauf à tenir compte plus loin de la variation qu'elle subit), on doit avoir, en appelant encore x la hauteur immergée quand la température devient t' et en écrivant que le flotteur fait toujours équilibre au contrepoids :

$$P-B(h-H)d=P-B[1+2k(t'-t)xd,$$

d'où

$$x=\frac{h-H}{1+2k(t'-t)}=(h-H)[1-2k(t'-t)].$$

Le relèvement de l'aiguille serait donc

$$(h-H)\times 2k(t'-t),$$

et il faudrait, pour en tenir compte, augmenter de cette quantité l'évaporation observée.

La correction totale à effectuer pour corriger l'action de la chaleur sur la capacité du bassin serait donc en définitive

$$-2k(t'-t)h+2k(t'-t)(h-H),$$

c'est-à-dire

$$-2k(t'-t)H$$

comme nous l'avions annoncé.

2° *Dilatation de l'eau.* — Les variations de température n'agissent pas seulement sur la capacité du bassin; elles modifient aussi le volume et, par suite, la hauteur de l'eau qui remplit l'évaporomètre.

Cette hauteur h devient $h[1+k'(t'-t)]$ quand le thermomètre varie de t à t'; il semblerait donc qu'il y ait lieu d'augmenter les évaporations constatées de $hk'(t'-t)$; mais il convient en réalité de les augmenter seulement de $Hk'(t'-t)$, car si nous con-

sidérons le volume d'eau du bassin de jauge correspondant à la partie immergée du flotteur (dont la hauteur est $h-H$), ce volume variant de densité, son poids varie également; dès lors d étant la densité primitive correspondant à t, d' celle correspondant à t', on doit avoir, pour que le contrepoids reste en équilibre, en appelant y la hauteur immergée correspondant à t' :

$$P - B(h-H)d = P - Byd,$$

et comme

$$d' = \frac{d}{1+k'(t'-t)}, \qquad (h-H)d = \frac{yd}{1+k'(t'-t)};$$

d'où

$$y = (h-H)[1+k'(t'-t)].$$

La variation de la température fait donc baisser l'aiguille et augmente l'évaporation observée de $k'(t'-t)(h-H)$; la correction totale relative au changement de température de l'eau est, par suite, en totalité de

$$+hk'(t'-t) - k'(t'-t)(h-H),$$

soit

$$+Hk'(t'-t).$$

Ainsi, la correction définitive relative à l'action de la chaleur sur l'évaporomètre serait

$$-2k(t'-t)H + k'(t'-t)H,$$

c'est-à-dire

$$H(t'-t)(k'-2k).$$

Si k et k' étaient constants, un simple tableau à deux colonnes dans lesquelles se trouveraient d'une part les chiffres 1°, 2°, 3°... 10° représentant les différentes valeurs de $t'-t$ et d'autre part les dix premiers multiples de $(k'-2k)$, H donnerait immédiatement la correction à opérer. Le coefficient de dilatation de l'eau étant loin d'être constant, il faut construire une table à double entrée donnant, pour chaque température et pour chaque différence $(t'-t)$ supposée de 1°, 2°, 3°... 10°, la correction correspondante.

Cette table, disposée comme celle usitée dans les stations météorologiques, qui donne l'état hygrométrique correspondant aux températures des thermomètres sec et mouillé, se déduit très aisément du tableau des densités de l'eau correspondant aux différentes températures.

Nous donnons plus loin cette table pour $H = 1$ mètre, c'est-à-dire pour un bassin dans lequel la profondeur serait de 1 mètre mesurée jusqu'au-dessous du flotteur. Si cette profondeur était différente (30 centimètres, par exemple), on obtiendrait la table à employer en multipliant les chiffres par 0,30 [1].

§ 2. *Erreurs dues au bassin de jauge.* — La correction relative à la température n'est pas la seule dont il y ait lieu de tenir compte.

[1] Nous n'avons pas tenu compte dans ce qui précède de l'action de la chaleur sur la tige de suspension du flotteur. Cette action est peu appréciable; elle se mesurerait en effet par $LK(t'-t)$. L étant la longueur totale de la tige y compris la hauteur verticale du flotteur métallique.

Pour $L = 0{,}20$, $t'-t = 10°$ le relèvement serait moindre que 2 centièmes et demi de millimètre.

Cette correction paraît devoir être négligée eu égard surtout à ce que la différence entre les températures correspondant à deux observations consécutives ne dépasse généralement pas quelques degrés, soit qu'on les fasse plusieurs fois dans la journée à quelques heures d'intervalle, soit qu'on se borne à une seule observation quotidienne.

Dans la pratique, on ne tarde pas à reconnaître qu'il est indispensable de maintenir le bassin de jauge constamment fermé, tant pour éviter l'agitation continue du flotteur par l'effet du vent que pour empêcher qu'il ne s'introduise, pendant les pluies, une quantité d'eau difficile à apprécier [1].

La couverture du bassin de jauge fausse évidemment les résultats observés, en raison, d'une part, de ce qu'il n'est pas tenu compte de la pluie tombée sur la surface correspondant à ce bassin et, d'autre part, de ce que l'évaporation ne s'effectue pas en vase clos comme à l'air libre.

La première cause d'erreur peut être facilement annulée; il suffit, après avoir vidé le contenu du pluviomètre de l'Association dans l'éprouvette graduée, de verser ce contenu dans l'évaporomètre; comme le bassin de jauge a la même surface que le pluviomètre, la correction est immédiate.

Quant à la correction résultant de la moindre évaporation, il n'est possible de l'apprécier que par l'observation. A cet effet on a soin, pendant la durée d'une série d'expériences, d'intercepter la communication entre les deux bassins et, au moment de l'observation, on lit sur le cadran l'évaporation qui s'est produite dans le petit bassin, puis, en rétablissant la communication, celle qui s'est produite dans le grand, on trouve généralement que l'évaporation dans le petit bassin est les 25 à 35 centièmes de celle observée dans le grand. Adoptons le premier des deux chiffres et appelons S et s les surfaces du grand et du petit bassin, E l'évaporation réelle à la surface du grand bassin, E′ l'évaporation observée, α la correction, c'est-à-dire (E−E′).

Le bassin de jauge étant couvert, l'évaporation réelle est diminuée d'un volume d'eau de $0{,}75 \times s \times E$ qui, réparti sur la surface des deux bassins, réduirait la hauteur d'eau d'une quantité α telle que:

$$\alpha\ (S+s) = E \times 0.75 \times s,$$

d'où

$$\alpha = 0.75\,E \times \frac{s}{S+s} = \text{à peu près } 0.75\,E' \times \frac{s}{S+s}\,.$$

Dans le cas de l'évaporomètre dont nous nous servons

$$S = 1^{mq},50 \qquad s = 0^{mq},04.$$

$$\alpha = 0.75 \times \frac{4}{154} \times E'.$$

$\alpha =$ environ $\frac{2}{100}$ de E′, c'est-à-dire moins de 2 dixièmes de millimètre pour l'évaporation maximum observée (90 millimètres); la correction serait encore moindre si le grand bassin avait des dimensions plus considérables.

Nous admettons les corrections suivantes:

Pour une évaporation variant de	0	à	15.5	0.0
	12.5	à	37.5	+ 0.5
	37.5	à	62.5	+ 1.0
	62.5	à	87.5	+ 1.5
	87.5	à	112.5	+ 2.0

(Ces chiffres représentent des dixièmes de millimètre.)

[1] L'abri du flotteur qui surmonte le petit bassin est cause que la quantité d'eau qu'il reçoit pendant une pluie est tout à fait différente de celle que recevrait une surface égale dans les conditions normales; lors d'une pluie oblique, l'eau ruisselle à la surface de l'abri et tombe abondamment dans le bassin.

En résumé, les corrections à faire subir aux chiffres lus sur le cadran se résument à deux : l'une, relative à la température, donnée par le tableau à double entrée dont nous avons indiqué plus haut le mode de construction ; l'autre, nécessitée par la couverture du bassin de jauge, qui est en quelque sorte l'erreur constante de l'instrument et qui (dans le cas d'un bassin de 1^{m},50 sur 1 mètre) est 0, $\frac{1}{2}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ ou 2, suivant l'importance de l'évaporation observée.

S. 3. *Erreurs dues au pluviomètre.* — Après avoir signalé les causes d'erreurs qu'il y a lieu de corriger, nous devons en indiquer une autre qui a une certaine importance, mais dont on peut heureusement s'affranchir pour les observations précises : c'est l'inexactitude de la mesure de hauteur de la pluie tombée pendant la durée d'une expérience.

Quand on cherche à mesurer exactement cette hauteur, on éprouve une première difficulté dans le choix de l'emplacement du pluviomètre. L'emplacement a sur la quantité d'eau reçue une influence considérable, et l'on pourrait dire presque inexplicable : les résultats donnés par deux instruments bien concordants et placés à quelques mètres seulement de distance sont rarement les mêmes ; ainsi deux pluviomètres de l'Association, disposés l'un sur une terrasse dominant la campagne, l'autre sur une autre petite terrasse également découverte, à quelques mètres de la première et à un niveau supérieur de 2 mètres environ, ont donné quelquefois des différences de 20 p. 0/0 et le plus souvent des différences de 15 p. 0/0.

Aussi la condition essentielle que doit remplir le pluviomètre, c'est d'être juxtaposé à l'évaporomètre et établi au même niveau.

Le pluviomètre de l'Association placé ainsi reçoit une quantité d'eau presque identique à celle qui tombe dans le bassin d'évaporation ; nous l'avons constaté à plusieurs reprises, en observant la marche de l'aiguille sur le cadran pendant une pluie abondante assez courte pour que l'évaporation puisse être négligée pendant sa durée. On pourrait d'ailleurs, pour plus de sûreté, accoler un pluviomètre de l'Association à trois des faces du bassin et prendre la moyenne des hauteurs données par les trois instruments.

On doit donc être suffisamment rassuré en ce qui touche cette cause d'erreur ; malheureusement, il en est une autre, et celle-là semble irrémédiable, c'est l'évaporation de la pluie à mesure qu'elle tombe sur la surface de l'entonnoir constituant le récepteur du pluviomètre.

Quand on observe ce qui se passe lors du début d'une pluie, on remarque que les premières gouttes d'eau, si la pluie est peu abondante, s'attachent à la surface de l'entonnoir et s'y évaporent ; si le temps est sec et si la surface a été chauffée par le soleil, il peut tomber plusieurs dixièmes de millimètre d'eau avant qu'une seule goutte parvienne à l'intérieur de l'appareil ; pour peu que la pluie soit de courte durée et revienne plusieurs fois dans la journée à plusieurs heures d'intervalle (ce qui se produit fréquemment lors des giboulées de mars), le pluviomètre n'accuse rien, alors que la hauteur tombée a une certaine importance. Dans le bassin de l'évaporomètre, au contraire, toute la pluie vient s'ajouter à l'eau qu'il contient et diminue d'autant l'évaporation constatée. C'est là un inconvénient inhérent aux pluviomètres quelle que soit leur forme, et il paraît bien difficile de l'éviter ; aussi fera-t-on bien, si l'on veut avoir une série d'observations précises, de choisir des journées sèches, sauf à se servir d'un évaporomètre abrité pour étudier spécialement ce qui se passe pendant la pluie [1].

[1] Il est inutile de faire remarquer que l'évaporation de la pluie ne se produit pas seulement à la surface de l'entonnoir du pluviomètre, mais aussi dans le récipient ; on peut remédier dans une certaine mesure à cet inconvénient en mesurant la hauteur tombée à la fin de chaque pluie pendant la journée ; ce mode de procéder ne présente pas de difficultés pratiques sérieuses, car pendant la nuit l'évaporation est insignifiante.

Tableau des variations de la hauteur (1^m,00) d'eau du bassin, en tenant compte de la dilatation de l'eau et de la tôle, pour une augmentation de température. (La variation est exprimée en dixièmes de millième.)

TEMPÉRATURE.	1°.	2°.	3°.	4°.	5°.	6°.	7°.	8°.	9°.	10°.	11°.	12°.	13°.	14°.	15°.
0 degrés	— 0.9	— 1.5	— 2.0	— 2.3	— 2.5	— 2.6	— 2.4	— 2.2	— 1.7	— 1.2	— 0.6	0.3	1.2	2.4	3.6
1	— 0.7	— 1.1	— 1.5	— 1.6	— 1.7	— 1.6	— 1.3	— 0.9	— 0.3	0.3	1.0	2.1	3.0	4.5	6.0
2	— 0.5	0.8	— 1.0	— 1.0	— 0.9	— 0.7	— 0.2	0.3	1.0	1.8	2.6	3.7	5.0	6.7	8.2
3	— 0.4	— 0.5	— 0.6	— 0.4	— 0.2	0.2	0.8	1.4	2.3	3.2	4.2	5.6	7.1	8.7	10.3
4	— 0.2	— 0.2	— 0.1	0.2	0.6	1.1	1.8	2.6	3.6	4.6	5.9	7.5	9.0	10.6	12.1
5	— 0.1	0.1	0.1	0.8	1.3	1.9	2.8	3.7	4.8	6.1	7.6	9.2	10.8	12.4	13.9
6	0.1	0.4	0.8	1.4	2.0	2.8	3.8	4.8	6.2	7.7	9.2	10.8	12.3	14.0	15.9
7	0.2	0.7	1.2	1.9	2.7	3.6	4.7	6.0	7.6	9.2	10.6	12.2	13.8	15.8	17.5
8	0.4	1.0	1.6	2.5	3.4	4.4	5.8	7.3	9.0	10.5	11.9	13.6	15.5	17.6	19.6
9	0.5	1.2	2.0	3.0	4.0	5.3	6.9	8.5	10.1	11.6	13.1	15.2	17.2	19.3	21.3
10	0.6	1.5	2.4	3.5	4.8	6 3	8.0	9.5	11.1	12.6	14.5	16.6	18.6	20.7	22.7
11	0.8	1.8	2.8	4.0	5.7	7.3	8.9	10.4	12.0	13.9	15.9	18.0	20.0	22.1	24.6
12	0.9	2.0	3.1	4.5	6.4	8.0	9.7	11.2	13.1	15.2	17.1	19.2	21.2	23.8	26.3
13	1.0	2.4	3.4	5.0	7.1	8.6	10.4	12.2	14.3	16.3	18.2	20.3	22.8	25.4	27.9
14	1.3	2.8	3.7	5.5	7.5	9.1	11.2	13.2	15.3	17.2	19.2	21.8	24.3	26.9	29.4
15	1.5	3.0	4.0	5.9	7.9	9.7	11.9	13.9	15.9	17.9	20.4	23.0	25.5	28.1	30.6
16	1.5	3.2	4.3	6.3	8.3	10.3	12.4	14.3	16.4	18.9	21.4	24.0	26.5	29.1	32.1
17	1.6	3.4	4.6	6.7	8.7	10.7	12.8	14.7	17.4	19.9	22.4	25.0	27.5	30.6	33.6
18	1.6	3.6	4.9	7.1	9.2	11.1	13.2	15.8	18.4	20.9	23.4	26.0	29.0	32.1	35.1
19	1.7	3.8	5.2	7.5	9.6	11.6	14.3	16.8	19.4	21.9	24.4	27.5	30.5	33.6	36.6
20	1.7	4.0	5.5	7.8	10.1	12.6	15.2	17.7	20.3	22.8	25.8	28.9	31.9	35.0	38.0
21	1.8	4.2	5.8	8.1	10.6	13.1	15.7	18.2	20.8	23.8	26.8	29.9	32.9	36.0	
22	1.8	4.4	6.1	8.7	11.2	13.7	16.3	18.8	21.9	24.9	27.9	31.0	34.0		
23	1.9	4.5	6.6	9.2	11.7	14.2	16.8	19.8	22.9	25.9	28.9	32.0			
24	2.0	4.6	7.1	9.7	12.2	14.7	17.8	20.8	23.9	26.9	29 9				
25	2.1	4.7	7.3	10.0	12.7	15.4	18.8	21.8	24.9	27.9					
26	2.3	4.8	7.6	10.3	13.2	16.1	19.3	22.3	25.4						
27	2.5	5.0	7.8	10.7	13.7	16.7	19.8	22.8							
28	2.6	5.2	8.1	11.2	14.2	17.2	20.3								
29	2.7	5.5	8.4	11.7	14.7	17.7									
30	2.8	5.7	8.7	12.2	15.2										
31	2.9	5.9	9.0	12.4											
32	3.0	6.1	9.1												
33	3.1	6.3													
34	3.2														
35															

OBSERVATIONS DES 14, 15, 16, 28 ET 29 JUIN 1877.

ANGOULÊME. — ALTITUDE 90^{m}.

DATES.		ÉTAT DU CIEL.	VENTS.	PRESSION BAROMÉTRIQUE au niveau de la mer.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'eau.	ÉTAT HYGROMÉTRIQUE.	ÉVAPORATION Cumulée.	ÉVAPORATION Différences en dixièmes de millimètres.		OBSERVATIONS.
					degrés.	degrés.		degrés.	degrés.		
14 JUIN.	9^{h} m.	presque serein.	N. E. faible.	760.1	25	22	71	»	»		mise au zéro.
	12^{h} m.	presque serein.	N. E. très faible.	»	27.5	27	»	3.5	3.5	Évaporation 5^{mm},5.	
	3^{h} s.	presque serein.	calme.	759.0	30.5	30	53	14.5	11		
	6^{h} s.	presque serein.	N. E. faible.	»	31	30	»	26.5	12		
	9^{h} s	peu nuageux.	N. E. très faible.	759.6	26	27	70	37.5	11		
15 JUIN.	12^{h} s.	serein.	N. E. faible.	»	23	25.5	»	47.5	10		
	3^{h} m.	presque serein.	calme.	759.8	22	24	86	51	3.5		rosée.
	6^{h} m.	presque serein.	N. E. faible.	»	21.5	23	86	54.5	3.5		rosée, brume lointaine.
	9^{h} m.	serein.	calme.	760.6	27	25	61	55.5	1		mise au zéro.
	12^{h} m.	serein.	E. N. E. faible.	»	31	29	»	6.5	6.6	Évaporation 7^{mm},3.	
	3^{h} s.	presque serein.	E. modéré.	759.8	33	32	43	23	16.5		
	6^{h} s.	presque serein.	E. N. E. faible.	»	31.5	31	48	43	20		
	9^{h} s.	serein.	N. E. faible.	760.0	26	28	64	55	12		
16 JUIN.	12^{h} s.	presque serein.	N. E. modéré.	»	23	26	77	65.5	10.5		éclairs lointains.
	3^{h} m.	presque serein.	N. E. faible.	759.6	21	24	86	69	3.5		rosée; éclairs loint.
	6^{h} m.	couvert.	O. modéré.	»	22	22	82	71.5	2.5		brouillard.
	9^{h} m.	nuageux.	calme.	761.0	26	23	73	73	1.5		mise au zéro.
28 JUIN.	9^{h} m.	presque serein.	N. E. modéré.	766.0	24	19	49	»	»		mise au zéro.
	12^{h} m.	presque serein.	N. E. assez fort.	»	27	24	38	11.5	11.5	Évaporation 8^{mm}.	
	3^{h} s.	nuageux.	N. E. modéré.	765.6	28.5	27	38	29.5	11		
	6^{h} s.	peu nuageux.	N. E. assez fort.	»	28	27	39	49.5	20		
	9^{h} s.	serein.	N. E. faible.	766.6	22	24.5	57	58.5	9		
29 JUIN.	12^{h} s.	serein.	N. E. faible.	»	19	22	68	67	8.5		
	3^{h} m.	peu nuageux.	N. E. faible.	767.1	16	19.5	68	72.5	5.5		
	6^{h} m.	serein.	N. E. faible.	»	18	18	63	77.5	5		
	9^{h} m.	serein.	N. E. modéré.	767.3	24	20	50	79.5	2		

Les chiffres ci-dessus donnent une idée des variations de l'évaporation pendant les différentes heures d'une journée d'été. L'évaporation constatée le 28 est relativement considérable par suite de la force du vent et du faible état hygrométrique; un anémomètre aurait été nécessaire pour définir le vent par le nombre de kilomètres parcourus. L'évaporation maxima de l'été 1877 a eu lieu le 1er août, elle a atteint 9 millimètres; la température maxima de l'air a été de 34 degrés, celle de l'eau avait atteint 31 degrés. L'évaporation a été tout à fait inappréciable par certaines journées froides et brumeuses de l'hiver.

Annexe n° 20.

COMMUNICATION SUR DES INSTRUMENTS DESTINÉS AUX MESURES DE L'INTENSITÉ CALORIFIQUE DES RADIATIONS SOLAIRES,

PAR M. A. CROVA.

L'intensité calorifique de la radiation solaire et sa transmissibilité par notre atmosphère constituent un élément météorologique d'une grande importance, puisque c'est cette radiation qui est la cause même de tous les phénomènes météorologiques et que c'est de son action que dérivent l'organisation et la vie végétale et animale.

Il serait utile d'instituer en météorologie des mesures exactes et faites régulièrement de l'intensité calorifique de la radiation solaire.

Depuis longtemps, il est vrai, l'on a fait des travaux dans ce sens, et des observations régulières ont été instituées sur divers points, à l'aide d'actinomètres variés. Mais les instruments dont on a fait usage ne pouvaient mesurer exactement la radiation solaire, ou ne mesuraient qu'une partie plus ou moins arbitraire des diverses radiations qui la composent; tels sont l'actinomètre d'Herschel ou de Robinson, celui d'Ericsson, les boules noircies de M. de Gasparin, les thermomètres noir et brillant dans le vide, d'Arago, les thermomètres à maxima, à boule noire dans le vide, usités en Angleterre, et les actinomètres chimiques; d'autres, tels que l'actinomètre du P. Secchi ou celui de M. Soret, et l'actinomètre thermo-électrique, donnent bien des indications dont il est facile de déduire l'intensité de la radiation solaire, mais faute de les avoir étalonnés, c'est-à-dire d'avoir exprimé en unités absolues les indications qu'ils donnent, les séries obtenues au moyen de ces divers instruments n'étaient pas comparables entre elles, et si l'on pouvait comparer les nombres obtenus au moyen d'un même instrument et obtenir ainsi des rapports de radiation, il n'en était plus de même dès qu'il s'agissait d'observations faites dans des stations différentes, avec des instruments variés; or, c'est cette comparaison qui offrirait surtout de l'intérêt, car on pourrait alors apprécier plus exactement les causes auxquelles sont dues les variations des climats et le développement si variable de la végétation sur les divers points du globe.

En fait, la plupart des observations météorologiques sur la radiation faites jusqu'ici l'ont été soit avec des instruments dont on ne peut interpréter les indications, soit avec des instruments bien construits, mais ayant chacun une échelle arbitraire différente, dont la valeur n'est pas connue.

Avant d'aborder l'étude des instruments qui servent à la mesure de l'intensité de la radiation solaire, essayons de définir le but et la nature des observations à faire.

En premier lieu, la mesure absolue de la radiation solaire qui arrive aux limites de notre atmosphère n'est pas du ressort de la météorologie, mais appartient au domaine de l'astronomie physique; c'est à elle qu'il appartient de mesurer *la constante solaire*, c'est-à-dire la quantité de chaleur reçue dans l'unité de temps sur l'unité de surface

d'un écran placé normalement aux rayons solaires, aux limites de notre atmosphère; d'étudier les variations que subit cette constante, soit par suite de la distance variable de la terre au soleil, soit à cause de la fréquence plus ou moins grande des taches solaires, soit enfin par suite de l'interposition de masses variables de bandes d'astéroïdes invisibles à nos yeux, entre la terre et le soleil, ou à toute autre cause extraterrestre. La météorologie ne peut s'occuper de ces études qui ont un caractère essentiellement astronomique, mais elle tirera un très utile parti des conséquences que l'on déduira de travaux faits dans ce sens.

En second lieu, la météorologie s'occupe de la mesure de l'intensité de la radiation solaire en un point déterminé, c'est-à-dire de la quantité de chaleur reçue dans l'unité de temps sur l'unité de surface d'un écran normal aux rayons solaires placé à la surface du sol, ou bien de la constante solaire diminuée de l'absorption atmosphérique.

Ce genre de mesures fournit des données utiles sur la transparence calorifique plus ou moins grande de l'atmosphère, et par conséquent sur sa constitution; mais comme cette transparence peut tenir à des causes diverses, il est bon d'ajouter à ces déterminations, comme l'ont fait plusieurs physiciens, la mesure de la transmission de la radiation à travers une couche d'eau d'épaisseur déterminée; cette mesure supplémentaire, surtout si elle est étendue au cas de plusieurs couches d'eau d'épaisseurs différentes, fournira des données qui permettront d'apprécier la masse de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, l'absorption exercée par une certaine masse de vapeur d'eau étant, d'après M. Desains, exactement égale à celle qu'exercerait une masse égale d'eau liquide. Depuis quelque temps déjà, des observations de ce genre ont été entreprises par M. Soret à Genève[1]. Il ne manque aux observations de M. Soret, pour qu'elles puissent avoir toute l'utilité qu'on est en droit d'en attendre, que d'être exprimées en calories et rendues ainsi comparables.

Les mesures de radiation se font au moyen de deux méthodes principales: l'une qui consiste à observer la marche d'un appareil thermométrique exposé alternativement à l'ombre et au soleil, et que l'on nomme pour cette raison *méthode dynamique,* me paraît peu pratique au point de vue météorologique, mais c'est celle que je crois être la plus précise pour les mesures absolues; l'autre, que l'on nomme *méthode statique,* consiste à noter les positions d'équilibre des colonnes de deux thermomètres, dont l'un est exposé au soleil, au centre d'une enceinte à température constante, et dont l'autre donne la température de cette même enceinte; elle est plus abordable pour le météorologiste, puisqu'elle n'exige que la lecture de deux thermomètres, mais elle est moins délicate et, je crois, aussi moins précise que la première.

Je pense qu'il serait utile d'employer la seconde méthode pour les observations courantes et de se servir de la première pour étalonner les actinomètres usuels qui serviront à ces observations, et pour les déterminations isolées faites sur des points remarquables et à de grandes altitudes, partout, en un mot, où l'on ne pourra installer à demeure un instrument destiné à des observations continues.

Les observations de la radiation directe et de la radiation transmise se feront facilement, soit à l'aide d'actinomètres plus ou moins analogues à celui du P. Secchi, soit à l'aide d'actinomètres thermo-électriques analogues à celui de M. Desains; elles devraient être faites plusieurs fois par jour, lorsque le ciel serait bien découvert, ou que du moins les nuages ne recouvrent pas le soleil; on obtiendrait ainsi des valeurs relatives de la radiation; mais en faisant de temps en temps à midi et par des journées choisies des déterminations absolues au moyen d'un pyrhéliomètre analogue à celui de Pouillet, au moment d'une observation actinométrique, on aurait la valeur de la cons-

[1] Compte rendu de la session à Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences.

tante par laquelle il faudrait multiplier les degrés de l'actinomètre pour les convertir en calories.

Ces déterminations pourraient être faites soit au moyen du pyrhéliomètre à mercure que j'ai décrit[1], soit au moyen d'un actinomètre étalonné sur un de ces pyrhéliomètres, soit en opérant par la méthode statique, comme l'a fait M. Desains, et en convertissant les degrés thermométriques en calories au moyen des dimensions connues de la boule du thermomètre et de la loi observée du refroidissement de l'instrument.

INSTRUMENTS D'OBSERVATIONS.

Pour les observations météorologiques, voici quels sont les instruments dont j'ai fait usage à Montpellier, mais que je n'ai encore pu employer à des observations suivies :

L'actinomètre devant suivre le soleil dans son mouvement diurne apparent, doit être monté sur un mécanisme d'horlogerie analogue à celui d'un héliostat; mais ce mouvement étant exposé à des dérangements fréquents par suite de son exposition permanente au soleil, à la poussière et aux intempéries, j'ai mis en pratique la disposition suivante :

Une boîte plate en métal contient un électro-aimant dont l'armature mobile agit sur une roue à rochet, de manière à la faire avancer d'une dent toutes les fois qu'un courant de courte durée est lancé dans le fil de l'instrument. La roue porte 144 dents et fait un tour complet en vingt-quatre heures, si l'on envoie dans l'électro-aimant un courant électrique toutes les dix minutes. Ce courant est fourni par une pile Leclanché de quelques éléments, et une horloge électrique est chargée d'envoyer à l'appareil le courant interrompu. On trouvera dans le *Bulletin météorologique du département de l'Hérault*, année 1877, et dans les *Mémoires de l'Académie des sciences et lettres de Montpellier*, même année, la description d'une horloge et d'une montre électriques que j'ai fait construire dans ce but et pour actionner des enregistreurs.

La boîte en métal qui porte l'électro-aimant et sa roue, est montée à la manière d'un héliostat et calée de manière que l'axe de la roue soit parallèle à l'axe du monde; l'horloge électrique étant mise en action, l'axe de la roue tournera d'un mouvement non continu mais intermittent, et ce mouvement saccadé sera l'équivalent d'un mouvement continu si pendant les dix minutes d'immobilité qui séparent deux déplacements consécutifs, le soleil s'écarte très peu de part et d'autre de l'axe de l'actinomètre, ce qui a réellement lieu. Cette disposition offre cet avantage que l'horloge menante peut être conservée à l'abri des intempéries, dans un local à température constante, et que la force transmise à l'axe de rotation peut être aussi grande que l'on voudra et mettre en mouvement les actinomètres qu'il faut observer, quels que soient leurs dimensions et leur poids.

Sur cet axe se monte un actinomètre analogue à celui du P. Secchi, de M. Soret, ou à celui de M. Violle; mais, afin d'éviter les inconvénients que présente l'emploi d'une enceinte pleine d'eau, et en particulier sa congélation en hiver et son évaporation en été, l'enceinte de l'actinomètre est formée d'une sphère creuse en cuivre rouge épais, noirci intérieurement, nickelé extérieurement, portant à son centre la boule noircie d'un thermomètre. Le rayon solaire entre par un orifice pratiqué dans la sphère et muni d'un diaphragme en laiton nickelé percé d'un orifice convenable. Un second thermomètre, dont le réservoir est logé dans une cavité creusée dans la sphère métallique, donne la température de l'enceinte.

[1] Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXXII, p. 81 et 375; t. LXXXIV, p. 495, et t. LXXXVII, p. 106. — Mémoires de l'Académie des sciences et lettres de Montpellier, 1876-1877.

Si cet instrument est monté sur l'axe du mouvement électrique dont nous avons parlé, il recevra le soleil dans son mouvement diurne apparent, et la lecture des deux thermomètres donnera, à un moment quelconque, l'excès de la température du thermomètre qui reçoit le soleil sur celle de l'enceinte, et, par conséquent, les éléments nécessaires pour calculer l'intensité de la radiation, si l'on a eu soin de faire préalablement quelques observations comparativement avec celles d'un pyrhéliomètre qui servira d'étalon.

La transmissibilité des radiations solaires à travers l'eau se mesurera soit, comme l'a fait M. Soret, à l'aide d'un second instrument identique au premier, comparé avec lui et dont l'orifice d'admission serait recouvert d'une cuve pleine d'eau, soit, avec moins d'exactitude, au moyen d'un seul instrument dont l'orifice sera alternativement libre pour avoir la radiation directe, et recouvert d'une cuve pour avoir la radiation transmise par l'eau. Dans ce cas, toute mesure de radiation transmise devra être divisée par la moyenne des deux intensités de radiation directe mesurées à des intervalles de temps égaux, avant et après.

Enfin, il est à désirer que l'on joigne aux mesures faites régulièrement à poste fixe des observations faites sur divers points, et notamment à des stations élevées. Dans ce but, j'ai fait construire par M. Ducretet un actinomètre de campagne qui n'est qu'une réduction simplifiée de celui dont j'ai fait usage dans mes recherches; aussi me dispenserai-je de le décrire ici. Cet instrument est très léger et très facile à transporter; une mesure d'intensité calorifique exige six lectures, qui sont faites en moins de cinq minutes; enfin, l'appareil permet de mesurer, au moyen d'une cuve d'eau distillée, la transmissibilité des rayons solaires à travers l'eau. Au moyen de cet appareil, les mesures actinométriques sont rapides, faciles et peuvent être converties en calories, pourvu que le constructeur indique la valeur en calories d'une division de l'instrument.

En résumé, l'on voit par cet exposé qu'il est facile d'instituer des mesures absolues et continues de l'intensité de la radiation solaire; mais on peut remarquer aussi que le mode d'observation est d'un usage assez délicat. Remarquons toutefois qu'il ne serait pas nécessaire de multiplier ces observations, comme on l'a fait pour la pluie, la température et d'autres éléments météorologiques. En effet, s'il est vrai que les mesures pluviométriques ne sauraient être trop multipliées, puisque les plus légers accidents locaux influent sur elles d'une manière considérable, s'il en est à peu près de même pour la température et l'humidité de l'air, cela n'est plus nécessaire pour les observations barométriques et encore moins pour les mesures actinométriques. Pour ces dernières surtout, un très petit nombre de stations, échelonnées à des altitudes aussi variées que possible et sur un petit nombre de points bien choisis de la surface de la France, suffirait largement, et l'on peut affirmer sans hésitation que des mesures de ce genre, si elles étaient faites dans des conditions non plus arbitraires, mais réellement scientifiques et, par conséquent, rigoureusement comparables, jetteraient un jour tout nouveau sur nos connaissances relatives à la nature des divers climats et à la constitution de notre atmosphère.

ANNEXE N° 21.

SUR UN NOUVEL ACTINOMÈTRE (1),

PAR M. J. VIOLLE,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE.

Toute mesure de chaleur solaire est en réalité une opération calorimétrique complète. Que l'on emploie le pyrhéliomètre de Pouillet ou l'actinomètre absolu qui m'a servi au sommet du Mont Blanc et à Laghouat, que l'on opère par la méthode statique ou par la méthode dynamique, on a toujours deux choses à mesurer :

1° L'échauffement de l'appareil sous l'action des rayons solaires;

2° Le refroidissement par les causes extérieures.

Prenons en effet la méthode statique, par exemple, et appliquons-la au cas simple d'une sphère exposée au rayonnement du soleil. L'équilibre étant établi, la sphère, que je supposerai douée d'un pouvoir absorbant absolu, reçoit du soleil pendant chaque unité de temps

$$\frac{1}{4} S q,$$

S étant la surface de la sphère et q la quantité de chaleur reçue pendant l'unité de temps par chaque unité de surface normale aux rayons solaires. Pendant le même temps elle perd

$$S m u,$$

u étant l'excès de température de la sphère sur le milieu ambiant et m un coefficient variable, pour un même corps, avec les conditions extérieures. On a par conséquent

$$\frac{1}{4} S q = S m u,$$

ou

$$q = 4 m u.$$

La mesure de q nécessite donc une double évaluation : évaluation de u, évaluation de m. La seule température d'un corps exposé au soleil ne peut en aucune manière donner l'intensité de la radiation solaire, la mesure seule de u ne fournissant que l'un des deux facteurs du produit qui représente cette intensité q. A la détermination de u il faut nécessairement en tous cas joindre celle de m.

La détermination de m nécessite dans tous les appareils jusqu'à ce jour employés une véritable expérience de physique, sauf cependant dans les thermomètres dans le

(1) M. Ducretet, constructeur à Paris, rue des Feuillantines, 79, se charge de fournir cet appareil, ainsi que l'actinomètre absolu du même auteur.

vide de Montsouris, instruments très imparfaits sur lesquels d'ailleurs je reviendrai dans un instant. Dans tous les autres appareils, on mesure m en supprimant à l'aide d'un écran l'action du soleil, et suivant le refroidissement de minute en minute pendant un temps suffisant pour en établir exactement la loi.

L'intervention de l'expérimentateur est donc nécessaire à chaque mesure; il y a là une complication grave entièrement supprimée dans l'appareil que j'ai l'honneur de présenter au Congrès, et où le refroidissement est sans cesse mesuré par l'instrument même.

Pour obtenir ce résultat, à la première sphère considérée j'en ajoute une deuxième identique de tous points sauf pour l'état de la surface, la nouvelle sphère étant recouverte d'une mince couche d'or bruni. Placée au soleil à côté de la première, cette deuxième sphère prendra un excès u', déterminé par l'équation

$$\frac{1}{4}\,S\,aq = S\,m'u',$$

ou

$$aq = 4\,m'u',$$

où a est un coefficient spécial, beaucoup plus petit que 1 et mesurant le pouvoir absorbant de la surface, S et q sont les mêmes quantités que plus haut, et m' l'analogue de m, variable, comme lui, d'un jour à l'autre, variable même le plus souvent d'une heure à l'autre dans une même journée.

Mais chacun de ces coefficients m et m' se compose de deux termes : un terme constant pour chaque boule (dans les limites entre lesquelles varie la température de l'air), dépendant uniquement de l'état de la surface et le seul que l'on aurait à considérer dans le vide; un terme variable, le même pour les deux boules, et qui représente l'action refroidissante de l'air. On peut donc poser

$$m = e + r,$$
$$m' = e' + r,$$

e et e' étant deux quantités qui resteront constantes, sous les réserves faites plus haut, tant que l'état des surfaces restera le même, et r mesurant l'action refroidissante de l'air à l'instant considéré. Par suite, les deux équations d'équilibre seront

$$q = 4\,(e + r)\,u,$$
$$aq = 4\,(e' + r)\,u',$$

équations dont on déterminera une fois pour toutes [1] les constantes par une expérience préalable identique à celle que l'on exécute chaque fois avec les autres actinomètres.

Plaçant un écran devant l'une des boules, la boule noire, par exemple, on suivra le refroidissement pendant quelques minutes, on en déduira la vitesse de refroidissement $v = nu$ de la boule considérée, pour l'excès u, dans les conditions même de l'expérience. Or $e + r = \frac{M}{S}\,n$, M étant la masse en eau du système et S la surface de la sphère; $e + r$ est donc égal à n multiplié par une certaine constante $\frac{M}{S}$ que l'on peut obtenir directement sur l'appareil en prenant le diamètre et en mesurant la masse en eau, mais que l'on aura plus facilement en comparant l'instrument avec l'actinomètre absolu qui donne

[1] Il sera bon toutefois, pour des mesures précises, de contrôler de temps à autre les valeurs des constantes par une observation du refroidissement ou par une comparaison avec l'actinomètre absolu.

q en valeur absolue et, par suite, $e + r$, u étant connu. On aura de même $e' + r$ et par conséquent a.

Dans toute observation ultérieure, il n'y aura plus qu'à relever les nouveaux excès u_1 et u'_1 pour en déduire immédiatement q_1. On aura en effet à cette nouvelle époque :

$$q_1 = 4\, m_1 u_1 = 4\,(e + r_1)\, u_1,$$
$$a q_1 = 4\, m'_1 u'_1 = 4\,(e' + r_1)\, u'_1;$$

d'où

$$\frac{e + r_1}{e' + r_1} = \frac{1}{a} \times \frac{u'_1}{u_1} = B_1,$$

B_1 étant une quantité connue, et par suite

$$m_1 = \frac{B_1\,(m - m')}{B_1 - 1},$$

m_1 obtenu, q_1 est déterminé.

En résumé, mon appareil se compose de deux boules identiques, en cuivre rouge, de 1 décimètre de diamètre extérieur, l'une noircie au noir mat, l'autre dorée. Chacune de ces boules est creuse et contient un thermomètre dont le réservoir sphérique est placé au centre de la boule et dont la tige sort par une petite tubulure horizontale que l'on placera au Nord en installant l'appareil. Chaque boule se fixe invariablement sur un piquet en un lieu découvert, au-dessus d'un sol gazonné.

L'observation consiste uniquement dans la lecture des deux thermomètres : de chaque lecture on retranche la température de l'air, on a ainsi les excès u_1 et u'_1, et, par suite, le rapport B_1, on en conclut m_1, et par conséquent la valeur absolue de la radiation $q_1 = 4\, m_1\, u_1$; ou plus simplement on a une table à double entrée qui, les excès u_1 et u'_1 étant donnés, fournit immédiatement q_1.

J'ai fait un certain nombre de mesures avec ces boules, vides ou pleines d'air; les résultats en ont été bien d'accord avec les nombres relevés à l'actinomètre absolu. Je n'entrerai point ici dans le détail de ces mesures. Je remarquerai seulement que, dans les belles journées, m_1 et m'_1 restent parfois constants pendant des heures entières; on le reconnaît immédiatement à la constance du rapport $\frac{u'_1}{u_1}$. Les valeurs de q_1 sont alors simplement proportionnelles aux valeurs de u_1.

Dans l'appareil à boules conjuguées de Montsouris, on admet cette constance de m_1, et, en effet, la boule du thermomètre noir se refroidissant dans le vide, m_1 se réduit à une constante e. Mais, d'une part, la radiation solaire n'atteint la boule thermométrique qu'après avoir traversé une enveloppe de verre modifiant de la façon la plus inégale par transmission et par réflexion le faisceau calorifique complexe qui nous arrive du soleil; d'autre part, l'excès u_1 s'obtient en prenant la différence des températures accusées par le thermomètre noir et le thermomètre blanc, ce dernier étant supposé donner la température de l'enceinte, ce qui est peu exact.

L'appareil que je propose est à l'abri de ces incertitudes et tout aussi simple (1). Il peut donc, je crois, permettre des mesures exactes et en même temps faciles de la radiation solaire.

Il est inutile d'ajouter que ce système de boules deviendrait facilement un appareil enregistreur à indications continues.

(1) Si l'on prenait seulement deux thermomètres nus, l'un noirci et l'autre doré, l'appareil serait plus fragile et beaucoup moins précis, l'influence du vent se faisant énergiquement sentir sur les thermomètres nus, tandis qu'elle n'amène aucune erreur sensible avec le dispositif que j'ai adopté.

Annexe n° 22.

RECHERCHES SUR LA SCINTILLATION DES ÉTOILES ET DESCRIPTION D'UN SCINTILLOMÈTRE,

PAR M. MONTIGNY,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE, PROFESSEUR À L'ATHÉNÉE DE BRUXELLES.

Le phénomène si remarquable de la scintillation est, depuis plusieurs années, l'objet de recherches suivies de M. Montigny. Il s'est occupé particulièrement des rapports de la scintillation des étoiles avec la nature de leurs spectres, puis des variations d'intensité du phénomène selon l'état de l'atmosphère.

Nous ne pouvons donner qu'un résumé succinct à l'égard de ces deux genres de recherches différentes. Les résultats auxquels M. Montigny est arrivé ont été exposés, non seulement dans les publications de l'Académie royale de Belgique, mais dans une publication spéciale que M. Montigny a offerte aux membres du Congrès de météorologie, et dans laquelle se trouve la description d'un scintillomètre au sujet duquel nous allons donner quelques indications principales.

SCINTILLOMÈTRE.

Dans un travail qui est inséré au tome XXVIII des *Mémoires de l'Académie de Belgique*, M. Montigny abordait l'étude de la scintillation et résumait dans le titre même de son mémoire : « La cause de la scintillation ne dériverait-elle pas de phénomènes de « réfraction et de dispersion par l'atmosphère », la théorie que ces observations lui suggérèrent. Les premières recherches dont il est question dans ce travail ont été faites au moyen de la disposition suivante : Imaginons que l'on place entre l'œil et l'oculaire d'une lunette une petite lentille pouvant tourner excentriquement autour de l'axe de la lunette; cette rotation excentrique rapide va évidemment changer l'image de l'étoile en un cercle coloré, par suite de la persistance des impressions lumineuses. Si l'étoile ne scintille pas, ce cercle revêt une teinte uniforme qui est la couleur de l'étoile; mais si celle-ci scintille, le contour circulaire sera fractionné en arcs diversement colorés et dont les teintes correspondront aux changements de couleur que l'image de l'étoile aura éprouvés pendant la durée d'une révolution de la lentille.

Depuis lors, en 1861, M. Montigny a imaginé un autre genre de scintillomètre. Il a mis sous les yeux du Congrès de météorologie ce nouvel instrument à l'aide duquel il a fait toutes ses recherches sur la scintillation des étoiles. Cette disposition se compose essentiellement d'une lame circulaire de verre épais, montée obliquement, en avant de l'oculaire de la lunette, sur un axe de rotation parallèle à l'axe de figure de celle-ci. Cette lame de verre est mise en mouvement révolutif par un mécanisme placé en dehors de la lunette, et qui permet de calculer exactement le nombre de révolutions que la lame accomplit en une seconde de temps. Un frein agissant sur le mécanisme permet de régler à volonté ce nombre de révolutions. Comme les faisceaux de rayons

lumineux convergeant vers l'oculaire de la lunette, par l'effet de l'objectif, traversent obliquement la lame de verre avant d'arriver à l'oculaire dans toutes les positions qu'elle prend autour de son axe de rotation, il résulte du *phénomène de déplacement latéral* produit par l'inclinaison de la lame sur l'axe autour duquel elle tourne, que l'image d'une étoile vers laquelle la lunette est dirigée décrit une circonférence parfaite dans le champ de l'instrument.

L'auteur a fait voir que, si l'on désigne par e l'épaisseur de la lame circulaire de verre, par γ l'inclinaison de celle-ci sur son axe de rotation et par F la longueur focale de l'objectif, l'angle φ, sous lequel l'œil verra le rayon du cercle apparent que l'image de l'étoile décrira dans l'instrument, sera donné par la formule

$$\text{tang}\,\varphi = 0{,}40\,\frac{e.g}{F}\sin\gamma$$

La lame du scintillomètre construit par M. Montigny présente un diamètre de 47 millimètres et une épaisseur de $6^{mm},4$. Elle est montée obliquement, sous un angle de 17 degrés environ, sur son axe de rotation, qui est éloigné de 22 millimètres de l'axe de la lunette. L'instrument avec lequel M. Montigny fait ses observations, à Bruxelles, est une lunette astronomique ayant un objectif de 77 millimètres d'ouverture.

Un micromètre composé de trois fils se coupant diamétralement est adapté au foyer de la lunette; cette disposition permet d'évaluer le nombre des arcs colorés qui fractionnent la circonférence décrite par l'image stellaire.

On sait que la scintillation d'une étoile est d'autant plus marquée que sa distance zénithale est plus grande, jusqu'à une certaine limite près de l'horizon. L'auteur a fait voir qu'en s'appuyant sur une loi trouvée par M. Ch. Dufour, de Morges, il y a moyen de ramener exactement les différents nombres de changements de couleur qu'une étoile éprouve à diverses distances zénithales, pendant une même soirée, à des valeurs correspondant à une distance zénithale choisie et restant la même. C'est par ce genre de calcul que le nombre des variations de couleurs qu'une étoile éprouve en une seconde, à la distance zénithale où on l'observe, est ramené au nombre de variations qui aurait, en réalité, caractérisé également en une seconde sa scintillation à 60 degrés de distance zénithale pendant la même soirée.

M. Montigny a pris pour base de ses travaux sur cette question importante les trois types principaux des étoiles établis par le P. Secchi. Ses premières observations se sont portées sur quarante et une étoiles, dont quelques-unes seulement au-dessous de la troisième grandeur. Rappelons brièvement ici que le premier type du P. Secchi est celui des étoiles blanches, ou, en réalité, légèrement bleues, dont le spectre, formé de l'ensemble de sept couleurs, est interrompu par quatre grandes lignes principales, l'une dans le rouge, l'autre dans le vert bleu, les deux dernières dans le violet.

Le deuxième type est celui des étoiles jaunes. Leur spectre est parfaitement semblable à celui de notre soleil, c'est-à-dire qu'il est formé de raies noires très fines, très serrées et occupant la même position que celles du spectre solaire.

Le troisième type est assez extraordinaire; il est composé d'un double système de bandes nébuleuses qui, dans les spectres des étoiles les plus remarquables de ce style, divisent toute sa longueur et en font une espèce de colonnade.

Dans le tableau suivant sont mis en parallèle les intensités de la scintillation que M. Montigny a déduites de ses recherches à l'égard des quarante et une étoiles et les caractères les plus remarquables de leurs spectres d'après le P. Secchi. Les intensités sont rapportées à 60 degrés de distance zénithale, comme cela a été dit précédemment.

TABLEAU COMPARATIF DE LA FRÉQUENCE DE LA SCINTILLATIO

PREMIER TYPE. ÉTOILES À SPECTRE PRÉSENTANT QUATRE RAIES PRINCIPALES.			DEUXIÈM ÉTOILES À RAIES FIN	
ÉTOILES.	Scintillation.	CARACTÈRES DU SPECTRE.	ÉTOILES.	Scintillation.
ε de la grande Ourse.	111	Spectre typique très pur.	α de Persée.......	98
β de la grande Ourse.	104	Spectre typique très pur.		
Procyon..........	103	Spectre typique, raies fines très nombreuses.	Pollux...........	96
			Deneb..........	89
α de la Lyre (Wéga).	98	*Spectre type.*		
η de la grande Ourse.	98	La raie F est diffuse.		
α d'Andromède....	92	Raies fortes dans le bleu et le violet, raies fines nombreuses dans le vert; traces de lignes semblables dans le jaune et dans le rouge qui est parfois peu apparent.	La Chèvre........	77
ζ de la grande Ourse.	88	Raie F assez forte dans le bleu.	γ d'Andromèdre...	77
γ de la grande Ourse.	87	Raies larges et nébuleuses, sauf la raie F, qui est bien nette.		
Régulus..........	85	Raie F élargie en zone noire, lignes fines dans le vert; le rouge est peu apparent dans le spectre.	α du Bélier.......	76
			β du Taureau.....	67
Altaïr...........	82	Raies principales bien accusées dans le jaune et le violet; lignes fines nombreuses particulièrement dans le vert.		
			β d'Hercule.......	65
α d'Ophiucus......	81	Raie V du violet large et bien accusée; raie F nébuleuse sur ses bords; zones légères dans le vert.	β du Lion........	55
Algool...........	78	Raies principales nettement accusées dans le vert, le bleu, le violet.	β du Serpent......	42
			α du Verseau......	40
α de Pégase.......	73	Raies F et V très marquées; lignes fines dans d'autres parties du spectre.	γ d'Orion........	60
γ de Pégase.......	72	Raie F ordinaire; beaucoup de lignes fines, mais faibles, qui rapprochent ce spectre du type solaire.		
Castor...........	62	Raie F élargie en zone à bords nébuleux. Beaucoup de raies fines dans le vert; manque de lumière à l'extrémité du violet.	β d'Orion (Rigel)...	57
α de la Couronne...	61	Raie V du violet encore distincte.	κ d'Orion........	53
MOYENNE.....	86		MOYENNE.....	69

DES ÉTOILES AVEC LES CARACTÈRES DE LEURS SPECTRES.

TYPE. À RAIES FAIBLES.
CARACTÈRES DU SPECTRE.
Raies F et V perceptibles. Groupes de raies fines dans le vert et dans d'autres parties du spectre.
Spectre type.
Raies fines nombreuses. La raie F est composée de plusieurs lignes semblables. Le rouge du spectre est étroit.
Raies fines très nombreuses, très distinctes et distribuées comme dans le spectre solaire; mais elles sont moins déliées que celles de Pollux.
Raie F prononcée, mais plus étroite que dans le premier type. Traces de zones dans le violet.
Raie F étroite; raies fines très nombreuses.
Ligne V distincte dans le violet; raies fines dans le vert. Le rouge du spectre est étroit et le vert prédomine.
Beaucoup de raies fines; le vert prédomine.
Raies F et V; la première paraît nébuleuse.
"
Beau groupe de raies fines dans le vert; raies diverses dans le jaune.
La raie F est étroite, mais bien accusée. La raie noire V est perceptible dans le violet. Une multitude de raies fines sillonnent le spectre, où le rouge manque.
Raie F étroite, mais bien accusée. Multitude de raies très fines et variées. Le vert du spectre prédomine et le rouge est très étroit.
Raies fines nombreuses, teinte verte.

TROISIÈME TYPE. ÉTOILES À BANDES NÉBULEUSES ET À RAIES NOIRES.		
ÉTOILES.	Scintillation.	CARACTÈRES DU SPECTRE.
ρ de Persée.....	70	Spectre traversé par des zones ou bandes disposées en cannelures, qui lui donnent l'aspect d'une colonnade rappelant ainsi, mais en miniature, le spectre encore mieux caractérisé d'α d'Orion. Les zones sont résolubles en raies distinctes.
β de Pégase.....	66	Les bandes du spectre lui donnent l'apparence d'une colonnade comme α d'Hercule; mais elles se résolvent plus aisément en raies fines.
α d'Orion (Bételgeuse).	64	Spectre remarquable par ses zones larges et nombreuses, aisément résolubles en raies noires. Les principales occupent les mêmes positions que dans le spectre d'α d'Hercule. Les zones et les raies sont séparées par des bandes lumineuses se détachant sur un fond peu éclairé.
Aldébaran......	59	L'aspect du spectre est changeant: il n'a présenté d'abord que des raies nombreuses et nettement tranchées; mais il montra ensuite, en outre de ces raies, des zones obscures, qui lui donnaient l'aspect d'une colonnade.
Arcturus.......	59	Raies nombreuses très fortement accusées, mais qui ne sont point réunies en zones.
β d'Andromède..	57	Spectre à raies fines parfaitement distinctes, qui sont groupées parfois en zones séparées. La raie F se trouve dans une de ces parties obscures.
α de la Baleine..	56	Zones disposées en colonnades; mais elles sont résolubles en raies fines.
Antarès........	55	Zones spectrales larges et variées, présentant des raies prononcées.
α d'Hercule.....	49	*Spectre type.*
ε de Pégase.....	49	Raies fines très nombreuses, réunies en zones sur un fond peu lumineux.
α du Serpent....	40	Zones à raies fines nombreuses; lumière faible. Zones foncées à leurs places ordinaires.
MOYENNE...	56	

Voici les principales conditions qui résultent de ce tableau :

1° Les deux étoiles dont les spectres ont été choisis comme types respectifs du premier et du deuxième groupe, et celles qui, dans chacun, s'en rapprochent le plus sous le rapport de leurs spectres, s'y distinguent aussi par les oscillations les plus fréquentes.

2° Dans la troisième division, l'étoile α d'Hercule, qui en est le type à cause de son spectre à zones des plus nombreuses et des plus larges, est une des étoiles dont la scintillation est la plus faible, non seulement à l'égard de ce groupe, mais parmi toutes les étoiles que j'ai observées.

3° Les étoiles qui figurent à la fin du premier type, et qui scintillent beaucoup moins que celles placées en tête de cette série, se distinguent, en général, de ces dernières par des raies spectrales plus nombreuses. En outre, parmi les étoiles placées à la fin du groupe, Castor est caractérisée par des lignes spectrales nombreuses, dont une s'élargit en zone plus ou moins diffuse. Remarquons aussi que le violet extrême manque dans le spectre de Castor.

4° Si, dans le second type, nous exceptons les trois étoiles d'Orion, qui forment une subdivision à part, d'après le P. Secchi, et pour lesquelles le rouge manque presque entièrement, les raies spectrales de la seconde moitié de ce type sont très nombreuses et parfois réunies en groupe, comme α du Verseau nous le montre.

5° Toutes les étoiles du troisième type, sauf Arcturus, dont les raies nombreuses et fortement accusées ne se réunissent pas en bandes, sont remarquables à cause de leurs spectres à zones obscures, de largeurs différentes, et dont les lignes de séparations lumineuses ou foncées sont très prononcées.

Les résultats qui précèdent concordent également avec les belles observations faites en Angleterre par MM. Huggins et Miller.

Les observations que M. Montigny a poursuivies jusqu'à l'époque actuelle (août 1878) à l'égard de plus de cent étoiles s'accordent avec les premières pour affirmer d'une manière définitive le fait suivant :

Les étoiles dont les spectres sont caractérisés par des bandes obscures et des raies noires scintillent moins que les étoiles à raies spectrales fines et nombreuses, et beaucoup moins que celles dont les spectres ne présentent que quelques raies principales.

Après avoir établi le fait de l'influence de la constitution de la lumière propre des étoiles sur les intensités respectives de leur scintillation, M. Montigny a étudié quelle est la part d'influence que notre atmosphère exerce sur ce phénomène, en recherchant quels sont les rapports entre son intensité et les changements si fréquents qui modifient l'état des couches aériennes que les rayons stellaires traversent avant d'arriver jusqu'à nous.

Les observations de M. Montigny, qui ont trait à cette question importante, ont été faites, comme les précédentes, à Bruxelles. La première partie de ses recherches, celle concernant l'influence de la pluie, la seule qui ait été publiée jusque maintenant, n'embrasse pas moins de deux cent trente soirées. Elle s'étend depuis le mois d'octobre 1870 jusqu'au mois d'août 1876, et elle comprend une série, et par cela même très précieuse, de cent cinquante-six soirées finissant à la dernière date.

Les étoiles observées sont au nombre de soixante-dix, toutes de grandeur supérieure à la quatrième, et elles ont été l'objet de plus de dix-huit cents observations spéciales.

Les données météorologiques que l'auteur a mises en comparaison avec les résultats concernant les scintillations ont été déterminées à l'observatoire de Bruxelles, à proximité duquel (à 1,080 mètres) est situé le lieu où M. Montigny observe. La plupart de ces données se rapportent à 9 heures du soir. L'auteur a choisi cette heure fixe,

quoique le moment de ses observations de scintillations ait été plus tôt ou plus tard que 9 heures du soir, selon les saisons, afin que l'état météorologique du ciel restât tout à fait comparable d'une soirée à l'autre, en se rapportant exactement à la même heure.

Le cercle décrit dans la lunette par l'image de l'étoile présente, selon l'état du ciel, des différences qu'il importe de signaler ici.

Quand l'atmosphère est calme et sereine, qu'il fasse chaud ou froid, le trait circulaire que décrit l'image est étroit, parfaitement régulier dans sa forme et nettement limité sur ses bords. Seulement les teintes sont plus vives et plus nombreuses quand il fait froid.

Lorsque le temps se prépare à la pluie, ou lorsqu'elle est déjà survenue, le trait circulaire est plus épais, moins net sur ses bords et souvent ondulé.

Dans un temps plus troublé, les mêmes irrégularités sont encore plus accusées; les bords du contour décrit par l'image stellaire sont plus ou moins frangés.

Enfin, quand l'atmosphère est profondément troublée par le passage ou même par l'approche d'une bourrasque, les arcs colorés, alors très nombreux, sont eux-mêmes fractionnés; le trait paraît alors *pointillé* ou *perlé*.

Intensité de la scintillation selon les saisons.

Dans le tableau suivant sont réunis : 1° les moyennes des résultats généraux relatifs aux quatre saisons; 2° les résultats qui ont coïncidé avec la pluie le jour de l'observation, le lendemain ou le surlendemain; 3° les résultats appartenant à des périodes de sécheresse, ou pendant lesquelles il n'a plu ni le jour de l'observation ni aucun des deux jours suivants.

La comparaison des résultats réunis dans ce tableau met en évidence l'influence prépondérante de la pluie sur la scintillation.

SAISONS.	NOMBRE de soirées d'observations.	INTENSITÉ MOYENNE de la scintillation.	TEMPÉRATURE MOYENNE de l'air à 9 heures du soir.	PRESSION atmosphérique MOYENNE à 9 heures du soir.	COEFFICIENT de LA RÉFRACTION atmosphérique.
					RÉSULTATS
			degrés.	mm.	
Printemps	72	70	8.30	756.48	1,0015
Été	62	52	18.89	58.13	5,9651
Automne	47	64	9.02	54.44	0,9964
Hiver	49	98	0.75	62.32	1,0398
MOYENNES ET SOMMES	230	71	9.24	757.84	1,0009
					RÉSULTATS PARTICULIERS SOUS
			degrés.	mm.	
Printemps	44	84	8.07	755.86	1,0026
Été	45	59	18.38	57.49	0,9666
Automne	38	67	8.47	53.10	0,9981
Hiver	32	103	1.12	58.44	1,0373
MOYENNES ET SOMMES	159	78	9.01	756.22	0,9999
					RÉSULTATS PARTICULIERS SOUS
			degrés.	mm.	
Printemps	28	48	9.25	760.32	1,0033
Été	17	31	20.06	60,41	1,9640
Automne	9	53	11,77	59.00	0,9920
Hiver	17	83	0.12	63.53	1,0441
MOYENNES ET SOMMES	71	54	10.30	760.81	1,3088

TENSION DE LA VAPEUR D'EAU absolue le soir de l'observation à 9 heures.	moyenne le lendemain de l'observation.	moyenne le surlendemain de l'observation.	HUMIDITÉ RELATIVE de l'air à 9 heures du soir.	COÏNCIDENCE DE LA PLUIE le jour de l'observation.	le lendemain de l'observation.	le surlendemain de l'observation.	EAU RECUEILLIE À MIDI le lendemain de l'observation.	le surlendemain de l'observation.	INTENSITÉ MOYENNE du vent à 9 heures du soir.
GÉNÉRAUX.									
mm.	mm.	mm.					mm.	mm.	k.
6,66	6.75	7.10	77,0	26	28	32	33.60	57.70	0,22
12.32	15.09	12.65	72,5	17	23	30	35.60	97.00	0,21
8.13	8.27	8.58	88,4	18	22	33	60.30	123.75	0,23
5.11	5.36	6.58	90,2	17	25	18	18.25	42.10	0,28
8.05	8.12	9.72	82,0	78	98	113	147.65	220.55	0,22
L'INFLUENCE DE LA PLUIE.									
mm.	mm.	mm.					mm.	mm.	k.
6.63	6.91	7.23	77,4	*0,59*	*0,64*	*0,73*	1.87	2.40	0,23
11.60	11.88	11.91	73,0	*0,38*	*0,51*	*0,67*	2.77	6.16	0,25
7.92	8.27	8.44	89,4	*0,46*	*0,58*	*0,87*	2.51	4.76	0,26
5.30	5.55	5.78	91,3	*0,53*	*0,78*	*0,56*	1,40	2.40	0,38
7.86	8.15	8.34	82,8	*0,49*	*0,63*	*0,71*	4.14	3.95	0,28
L'INFLUENCE DE LA SÉCHERESSE.									
mm.	mm.	mm.							k.
6.69	6.63	6.70	76,3	//	//	//	//	//	0,20
12.63	12.58	13.16	71,0	//	//	//	//	//	0,13
9.28	8.37	9.38	84,8	//	//	//	//	//	0,11
4.75	5.01	5.10	88,3	//	//	//	//	//	0,05
8.34	8.28	8.59	80,1	//	//	//	//	//	0,12

Voici les principales conséquences qui résultent de ce tableau :

1° En toute saison, la scintillation est notablement plus forte sous l'influence de la pluie que sous celle de la sécheresse ;

2° Dans l'un et l'autre cas, son intensité est beaucoup plus marquée en hiver qu'en été; sous l'influence d'un temps sec, la scintillation est sensiblement la même au printemps qu'en automne ; mais sous celle de la pluie, elle est notablement plus forte dans la première de ces deux saisons ;

3° A l'égard de chacune des trois comparaisons établies, les intensités de la scintillation varient exactement dans le même sens que les coefficients de la réfraction astronomique correspondants, sans qu'il se présente d'exception à cet égard pour aucune des valeurs particulières; ce parallélisme remarquable met incontestablement en évidence l'influence de la densité de l'air sur la scintillation ;

4° Les tensions de la vapeur d'eau suivent exactement les variations moyennes de la température de l'air, comme on devait s'y attendre; sous l'influence de la pluie, cette tension augmente régulièrement d'un jour à l'autre ;

5° Sous l'influence de la sécheresse, aussi bien que sous celle de la pluie, l'humidité relative de l'air qui, dans ses variations selon les saisons, ne suit pas celles de la température, est en rapport intime avec l'intensité de la scintillation, puisque l'une et l'autre varient très sensiblement dans le même sens.

Influence de l'approche de la pluie sur la scintillation.

D'après les tableaux fournis par M. Montigny, pour mettre en évidence l'influence des approches de la pluie sur l'intensité de la scintillation, on remarque que celle-ci augmente notablement à ces approches et pendant les jours de pluie, mais qu'aussitôt qu'elle cesse la scintillation diminue beaucoup en intensité.

Influence du mode de succession des jours de pluie.

Les résultats suivants mettent en relief l'influence de l'ordre de succession des jours de pluie sur le phénomène.

			INTENSITÉ MOYENNE de la scintillation.
Il pleut	le jour de l'observation	le lendemain et le surlendemain	100
		et le lendemain	80
		et le surlendemain	76
		seulement	73
	le lendemain seulement		68
	le lendemain et le surlendemain		66
	le surlendemain seulement		63

Influence des bourrasques.

M. Montigny a fait de nombreuses comparaisons à ce sujet, qu'il cite dans son travail spécial, au moyen des indications du *Bulletin météorologique quotidien de l'observatoire de Paris*. Il a remarqué plusieurs faits dont voici les plus importants :

1° Sous l'influence des bourrasques, l'intensité de la scintillation est toujours supérieure à la moyenne générale : 78, de l'ensemble des jours de pluie ;

2° Cette intensité augmente toujours quand une dépression s'approche de la Belgique ;

3° Elle est la plus forte au moment même du passage de la dépression sur la contrée ;

4° Elle s'accroît encore quand une seconde bourrasque succède immédiatement à la première ;

5° Son intensité diminue quand la dépression s'éloigne de Bruxelles, ou qu'elle se comble.

Influence de l'approche de la pluie sur la hauteur au-dessus de l'horizon où les variations de couleurs d'une étoile scintillante cessent d'être perceptibles.

D'après de Humboldt, dans les régions équatoriales, les phénomènes de la saison des pluies sont annoncés plusieurs jours à l'avance par la scintillation des étoiles élevées, là où d'ordinaire ce phénomène est le plus rare. Dans nos contrées, d'après des observations que M. Montigny fait connaître, la hauteur au-dessus de l'horizon où les variations de couleur d'une étoile scintillante sont encore perceptibles dans une lunette munie d'un scintillomètre est aussi plus grande aux approches de la pluie ou sous son influence que dans le cas contraire.

L'ensemble des faits qui précèdent mettent en évidence l'influence de la pluie sur la scintillation et la possibilité de prévoir la pluie à plus d'un jour d'intervalle, conformément du reste à une remarque vulgaire faite depuis longtemps.

Dans l'opinion de M. Montigny, le phénomène de la scintillation, étudié d'une manière régulière et suivie, doit concourir non seulement à la *prévision* du temps, mais au progrès de la météorologie, pour l'étude optique de plusieurs phénomètres aériens. La lumière est un agent physique excessivement sensible aux changements qui affectent les milieux qu'elle traverse. Il n'y a pas à douter que l'examen si délicat des rayons émanés des étoiles scintillantes, lors de leur passage à travers l'atmosphère, ne soit capable de nous révéler la cause des changements qui y surviennent.

ANNEXE N° 23.

MESURES D'ALTITUDES BAROMÉTRIQUES
PRISES À LA TOUR DE LA CATHÉDRALE D'ANVERS,
SOUS L'INFLUENCE DE VENTS DE VITESSES ET DE DIRECTIONS DIFFÉRENTES,

PAR M. CH. MONTIGNY,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE BELGIQUE.

Dans un travail spécial, M. Montigny a cherché à mettre en évidence le fait d'une corrélation entre les hauteurs barométriques et la force du vent, par la comparaison des déterminations concernant ces deux phénomènes, relevées à l'Observatoire de Bruxelles, pendant une période de dix années [1]. Il conjectura que la question de l'influence *dynamique* du vent sur le baromètre ferait un grand pas, s'il était reconnu que les mesures d'altitudes barométriques, relevées sous l'action de vents plus ou moins forts, s'écartaient de l'altitude vraie de ces localités. Quelques mesures semblables, prises, dès 1850 et 1851, entre le pied et le sommet de l'éminence, de 134 mètres de hauteur, sur laquelle est bâtie la citadelle de Namur, lui ont montré que les altitudes calculées étaient influencées par les vents qui régnaient au moment de leurs déterminations. Plus tard, en 1861, M. Montigny reprit ce genre de recherches, en relevant de nombreuses altitudes barométriques à la tour de la cathédrale d'Anvers. Cet édifice est orné de galeries qui forment des stations ayant l'avantage d'être situées sur la même verticale; de plus, par son élévation et son isolement dans un pays de plaines, par la légèreté de ses constructions presque à jour aux étages supérieurs, ce beau monument présente des lieux d'observation où il est permis de considérer les grands vents comme exerçant leur plénitude d'action sur le baromètre, à la hauteur des couches d'air passant par ces lieux.

Dans ses ascensions à la tour d'Anvers, qui sont au nombre de deux cent vingt-quatre, M. Montigny a mesuré chaque fois la vitesse et l'inclinaison du vent aux principales galeries, où il déterminait les hauteurs du baromètre qui lui ont servi à calculer les altitudes barométriques, sous l'influence du vent qui régnait au moment de chaque observation.

Nous exposerons, dans le résumé qui suit, les conditions principales qui ont présidé à ces différentes déterminations, et tout particulièrement les résultats qui accusent le

[1] Dans ce travail, publié en 1853, et qui est inséré au tome XXVI des Mémoires couronnés et des Mémoires des savants étrangers de l'Académie de Belgique, M. Montigny a mis successivement en comparaison : 1° *les moyennes annuelles et les moyennes mensuelles de la hauteur barométrique et de la pression du vent, pour la période décennale 1842-1851 ;* 2° *les maxima et les minima annuels et mensuels du baromètre en rapport avec la force du vent hors de ces extrêmes ;* 3° *les variations de cette force du vent pendant les tempêtes avec les fluctuations barométriques aux diverses phases de ces tourmentes atmosphériques.*

mode de distribution des pressions dans les couches d'air entraînées par des vents plus ou moins violents.

VITESSE DU VENT AUX DIVERS ÉTAGES DE LA TOUR D'ANVERS.

M. Montigny s'est servi d'un anémomètre de Woltman, construit en cuivre, avec légèreté et résistance. Ses quatre ailes, de 15 centimètres de diamètre, sont montées sur un arbre portant une vis sans fin. Celle-ci conduit une roue dentée qui soulève, à chaque soixantaine de tours des ailes, un léger marteau, lequel retombe sur un timbre sonore. Pour opérer à chaque étage de la tour, l'anémomètre est fixé à l'extrémité d'une gaule de $2^m,80$ de longueur qui se place en saillie sur la balustrade de la galerie, de manière que l'axe des ailes en mouvement se trouve alors placé horizontalement dans le plan vertical de la direction du vent.

Quand la rotation des ailes est régulière, l'observateur mesure, à l'aide d'un chronomètre à secondes et à arrêt, l'intervalle de temps qui s'écoule pendant que le marteau frappe cent coups successifs sur le timbre sonore. Une formule permet de calculer la vitesse du vent correspondant à cette détermination. L'évaluation de cette vitesse est faite ainsi avec toute l'exactitude nécessaire, puisqu'elle est déduite de l'intervalle de temps pendant lequel les ailes de l'anémomètre accomplissent *six mille révolutions.*

Des expériences préliminaires que l'auteur a exposées avec détail dans ses travaux spéciaux ont montré que la résistance opposée par la tour d'Anvers à la libre circulation de l'air, près de ses parois, dépend bien plus de l'effet de la masse elle-même de l'édifice que des détails de son ornementation architecturale [1]. M. Montigny a aussi conclu de ses expériences que la distance à l'axe de la tour où le vent reprend sa vitesse maxima uniforme, la résistance de la tour n'y faisant plus sentir ses effets, doit être à très peu près la même à la hauteur de chaque galerie où il a mesuré la vitesse du vent.

D'après l'ensemble de ces mesures, dont les résultats numériques particuliers à chaque direction du vent seront indiqués plus loin, dans le tableau comparatif des altitudes barométriques, la vitesse moyenne relative à chaque vent augmente avec l'élévation de l'étage de la tour où elle a été déterminée. Ces lieux d'observation sont : la galerie des cadrans, qui est élevée de $64^m,18$ au-dessus du sol; la galerie octogone, à $89^m,06$, et la galerie supérieure, située à 104 mètres [2].

Il est à remarquer que cette progression de la vitesse du vent avec l'élévation des galeries ne s'est point constamment vérifiée pour toutes les observations à la tour. M. Montigny a indiqué des cas, à la vérité exceptionnels, où cette vitesse est moindre à la galerie supérieure qu'aux deux autres. Ces exceptions se sont présentées aussi bien pour des vents de 14 à 16 mètres de vitesse que pour des vents faibles. Il a constaté, chaque fois que cette diminution de la force du vent à la galerie supérieure, qui se produit parfois aussi à la galerie octogone, n'est ni accidentelle ni passagère. De plus, ces exceptions ont souvent aussi coïncidé avec des irrégularités affectant l'altitude calculée de la galerie où la diminution relative du vent se manifeste, quand cette altitude est déduite de la hauteur barométrique relevée en ce lieu, au moment où la vitesse du courant d'air s'y écartait de la loi de progression régulière.

Mais les effets de ces anomalies disparaissent dans l'ensemble des résultats généraux, ou tout au moins elles ne les affectent pas d'une manière sensible. C'est au point que

[1] Bulletin de l'Académie de Belgique, 2e série, t. XXXIV et XXXV.

[2] D'après les mesures que feu M. l'architecte Serrure a prises, partie par partie, lors des premiers travaux de restauration de la tour d'Anvers, sa hauteur jusqu'au sommet de la girouette est $122^m,925$, soit 123 mètres.

M. Montigny a pu établir une formule qui lui a permis de calculer les vitesses du vent à la galerie des cadrans et à la galerie supérieure, quand la vitesse est donnée à l'égard de la galerie octogone, qui est intermédiaire aux deux autres. Les résultats calculés ne diffèrent que de quelques centimètres des vitesses observées, non seulement à l'égard des valeurs moyennes, mais pour des vents forts, lorsque la progression de vitesse avec la hauteur a été continue. Cette concordance s'est même produite lors des mouvements violents de l'air accompagnant le passage de bourrasques qui souvent ont coïncidé avec les expériences de l'auteur.

INCLINAISON DU VENT AUX DIFFÉRENTS ÉTAGES DE LA TOUR D'ANVERS.

On sait que, dans les pays de plaines, la direction du vent fait avec l'horizon un angle de 18 degrés environ. C'est pour cette raison que l'arbre des moulins à vent est tenu incliné sous cet angle. Il importait, au point de vue de la question de l'influence du vent sur les altitudes barométriques, de rechercher si l'inclinaison du vent varie selon l'élévation des galeries d'observation de la tour et suivant les divers azimuts. L'instrument dont M. Montigny s'est servi pour ce genre de recherches se compose essentiellement d'une double vanne formée de deux ailes de cuivre, fixées à un axe horizontal pivotant entre les deux tiges verticales d'un cadre métallique qui lui sert de support. Ces deux ailes, chacune de 120 millimètres de longueur et de 60 de largeur, sont inclinées, l'une par rapport à l'autre, de manière à comprendre un angle de 39 degrés environ entre leurs longueurs. Le poids des ailes est équilibré par l'effet d'un contrepoids adapté à leur axe de rotation, de manière que, quand l'appareil est soustrait à l'action du vent, les ailes restent dans la position qu'on leur donne. Au contraire, lorsque l'instrument est exposé à l'action du vent de manière que l'axe de rotation de la double vanne soit perpendiculaire au plan vertical suivant lequel le vent souffle, la double vanne formée par les ailes s'incline, et la bissectrice de l'angle compris entre celles-ci prend exactement la direction inclinée du vent. Cette inclinaison est mesurée par une aiguille fixée à l'axe de rotation des ailes, qui parcourt les divisions d'un cadran.

Lors des observations, cet instrument était adapté à l'extrémité de la gaule de bois, de $2^{m},80$ de longueur, qui servait de support à l'anémomètre. Ces deux instruments se substituent aisément l'un à l'autre à l'extrémité de la gaule, où on les y assujettit momentanément à l'aide de vis. Quand l'appareil destiné à mesurer l'inclinaison du vent était adapté à la gaule et que celle-ci était placée en saillie sur la balustrade de la galerie où l'on opérait, dans une direction perpendiculaire à celle du vent, on maintenait le cadre, portant la double vanne de l'appareil, dans une position verticale à l'aide d'un petit niveau à bulle d'air indicateur, qui est fixé à ce cadre et dont les mouvements de la bulle sont visibles pour l'observateur.

L'auteur a exposé dans un tableau général les résultats de ses mesures de l'inclinaison du vent. Il en résulte d'abord que cette inclinaison présente des différences marquées aux divers étages de la tour et selon chaque vent particulier. Parfois cette direction est *horizontale*, ou très peu inclinée à l'horizon; d'autres fois, elle est *plongeante*, c'est-à-dire inclinée de haut en bas: tel est le cas pour les vents compris entre l'E. S. E. et le S. S. O., quand leur inclinaison est mesurée à la galerie des cadrans. Très souvent le vent est incliné de bas en haut à la tour, c'est-à-dire que sa direction est *relevante*. C'est le cas le plus général, car il est dirigé de bas en haut suivant tous les azimuts aux deux galeries supérieures. Notons que les valeurs de ces inclinaisons forment des séries variant assez régulièrement à chaque étage; c'est au point que l'inclinaison maxima coïncide avec le vent de N. N. O. à chacun des trois étages. Mais des différences marquées se présentent de l'un à l'autre: ainsi, l'inclinaison est moindre, pour

tous les vents, à la galerie des cadrans, qui est la moins élevée, qu'elle ne l'est à la galerie octogone et surtout à la galerie supérieure, où l'inclinaison relevante, c'est-à-dire de bas en haut, est la plus grande pour tous les azimuts.

M. Montigny a examiné jusqu'à quel point les inclinaisons mesurées aux divers étages de la tour représentent l'obliquité moyenne de chaque vent en ces lieux. Il a recherché si ces mesures sont influencées, d'abord, par l'effet que la masse de l'édifice doit produire, à cause de sa forme élancée, sur la direction du mouvement des couches d'air qui passent dans son voisinage, en formant obstacle à leur circulation; puis par le fait d'autres circonstances locales qui interviennent comme causes perturbatrices. Il a conclu de l'examen approfondi de ces considérations, et particulièrement de la concordance qui se manifeste le plus souvent entre le sens et les valeurs de l'inclinaison du même vent aux trois galeries, que, *à chaque expérience, le vent souffle suivant une inclinaison qui lui est propre et qui n'est pas entièrement masquée par le fait de l'influence de la masse de la tour et des circonstances locales.* Ainsi, quoiqu'il soit bien certain qu'à la rencontre de la tour les couches d'air en mouvement tendent à se dévier de leur direction primitive, en se redressant en avant de l'édifice, les valeurs de l'inclinaison du vent, mesurées aux divers étages, diffèrent entre elles selon que le vent souffle des plaines unies, s'étendant jusqu'à la mer, entre le nord et l'ouest d'Anvers, ou qu'il vient des parties plus accidentées de l'est et du sud de la Belgique, dont le sol s'abaisse insensiblement jusqu'au niveau de la ville d'Anvers.

MESURE DES ALTITUDES BAROMÉTRIQUES PRISES À LA TOUR D'ANVERS SOUS L'INFLUENCE DES DIVERS VENTS.

L'exposé des résultats dont il s'agit étant la partie la plus importante du travail de M. Montigny, il importe de donner d'abord des indications précises à l'égard des dispositions locales des quatre stations choisies sur la hauteur de la tour, et à chacune desquelles le baromètre a été observé *deux fois à chaque ascension*, d'abord en montant, puis en descendant.

Au pied de la tour, le baromètre a été suspendu au bas de l'escalier en hélice qui s'élève aux parties supérieures de l'édifice. L'instrument s'y trouvait tout à fait à l'abri des agitations de l'air par la fermeture de deux portes, l'une s'ouvrant sur le parvis de la cathédrale et l'autre qui est placée au pied de la cage de l'escalier. De cette façon, l'espace où le baromètre était suspendu se trouvait exactement fermé au moment des mesures, et ainsi soustrait à l'influence directe du vent. Dans la position où le baromètre est suspendu à cette station inférieure, sa cuvette se trouvant un peu élevée au-dessus du parement de l'église, auquel les altitudes sont rapportées, les mesures barométriques ont subi de ce chef la correction additive nécessaire.

A la deuxième station, la galerie des cadrans, le baromètre a été observé dans la loge du concierge de la tour, qui est close de toutes parts, de sorte que l'instrument s'y trouvait parfaitement abrité. Dans cette position, sa cuvette était élevée à $64^{m},18$ du parement de l'église.

A la station suivante, la galerie octogone, qui couronne en encorbellement le deuxième étage de la tour, le baromètre était suspendu à $89^{m},06$ au-dessus du sol, dans la partie de l'édifice où s'élève le troisième étage de la tour; il s'y trouvait tout à fait à l'abri du vent latéralement. Mais au-dessus de cette position, les courants d'air traversent librement les hautes et larges ouvertures percées dans les quatre parois de cet étage, où elles prennent naissance à $2^{m},40$ au-dessus de son parement intérieur.

A la galerie supérieure de la tour, le baromètre était suspendu en plein air, à 104 mètres au-dessus du sol, dans l'une ou l'autre des cannelures verticales qui ornent le corps du dernier étage de la tour, de manière que l'instrument y fût toujours placé

du côté opposé au vent, conséquemment à l'abri de son action directe et des agitations de l'air.

Les mesures barométriques ont été relevées, à l'aide de bons baromètres de Fortin ou de Gay-Lussac, deux fois à chacune des trois stations inférieures, l'une à la montée et l'autre à la descente, et deux fois aussi à la galerie supérieure, entre l'intervalle de la mesure de la force et de l'inclinaison du vent. La durée totale de chaque ascension a été généralement comprise entre une heure et cinq quarts d'heure. Les déterminations à chacune des stations inférieures ont été considérées comme ayant répondu, le plus souvent, à des instants qui étaient également éloignés du moment des observations à la galerie supérieure. D'après cela, l'altitude de chaque galerie lors d'une ascension à la tour a été calculée en prenant la moyenne des deux hauteurs barométriques relevées à cette galerie.

Après chaque observation, l'altitude correspondante de chacune des galeries a été calculée à l'aide de cette moyenne, au moyen des tables d'Oltmans, qui reposent, comme on le sait, sur la formule de Laplace. Pour effectuer la correction dépendant de la température de l'air, M. Montigny ne pouvait pas introduire dans la somme des températures observées aux deux stations celle supposée relevée dans la couche d'air au niveau du sol, parce que cette température est trop exposée à subir, au sein d'une grande ville, des influences tout à fait anormales au niveau du sol. L'auteur a remplacé, dans les calculs relatifs à chaque ascension, la somme des températures aux deux stations par le double de la température qui était indiquée, au moment de celle-ci, par un thermomètre suspendu à 67 mètres au-dessus du sol et au N. E., dans une des hautes baies de la tour, à la galerie des cadrans.

Ajoutons ici que cette manière de procéder à l'égard de cette correction de la température a été légitimée, autant que le système de mesures barométriques adoptées par l'auteur, par ce fait que l'altitude barométrique moyenne de la galerie supérieure déduite de huit ascensions faites spécialement par un *temps calme,* est égale à $104^m,72$, hauteur qui diffère très peu de l'altitude vraie (104 mètres) du même lieu. Remarquons, en outre, que les températures de l'air correspondant à ces huit ascensions, où le vent n'a exercé aucune influence sur les mesures barométriques, ont varié entre $4°6$ et $17°8$.

Le tableau de la page suivante nous présente réunies les moyennes des altitudes barométriques des trois galeries de la tour, mesurées sous l'influence des seize vents principaux, ainsi que les vitesses moyennes correspondantes de ceux-ci, et cela d'après un ensemble de deux cent vingt-quatre ascensions à la tour.

Les conséquences générales applicables aux altitudes barométriques qui résultent de ce tableau sont les suivantes :

1° L'altitude calculée de chaque galerie est inférieure à son altitude vraie pour tous les vents de la région opposée ou de l'Ouest;

2° Les altitudes relatives aux vents du Sud et du Nord ou des régions tout à fait voisines s'écartent peu de l'altitude vraie de chaque galerie;

3° Les différences entre l'altitude barométrique et l'altitude vraie d'une même galerie croissent régulièrement, mais en sens contraire, des deux côtés de la méridienne jusqu'aux azimuts Est et Ouest, auxquels chacune atteint respectivement sa valeur maxima. Pour le même vent, ces différences sont d'autant plus fortes que la galerie à laquelle les altitudes calculées se rapportent est plus élevée.

MOYENNES DES ALTITUDES BAROMÉTRIQUES MESURÉES À LA TOUR D'ANVERS.

DIRECTION DU VENT.	GALERIE DES CADRANS à 64m,18.		GALERIE OCTOGONE à 89m,06.		GALERIE SUPÉRIEURE à 104 mètres.		TEMPÉRATURE DE L'AIR.	NOMBRE DES OBSERVATIONS.
	ALTITUDE barométrique.	VITESSE du vent.	ALTITUDE barométrique.	VITESSE du vent.	ALTITUDE barométrique.	VITESSE du vent.		
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.		
Nord	64 32	4 93	89 82	5 50	104 78	5 73	9° 10	14
N. N. E	63 08	4 45	88 70	4 96	103 34	5 33	7 95	9
N. E	62 56	5 76	87 62	6 44	102 25	6 76	8 09	10
E. N. E	62 08	6 24	87 92	6 85	101 59	7 27	5 17	14
Est	60 96	5 90	87 43	6 58	101 43	6 72	7 04	15
E. S. E	62 66	6 37	88 28	6 81	102 39	7 08	12 83	11
S. E	63 84	8 85	88 37	4 20	103 26	4 46	14 85	12
S. S. E	64 11	4 65	89 00	5 05	103 90	5 54	12 61	7
Sud	64 50	4 17	89 40	4 72	104 66	5 10	15 72	5
S. S. O	65 07	7 60	90 74	8 12	106 94	8 44	9 12	13
S. O	65 61	7 69	91 92	8 32	107 40	8 72	12 20	22
O. S. O	65 72	7 70	92 06	8 35	107 94	8 77	11 71	21
Ouest	66 22	9 17	93 85	9 83	109 98	10 44	11 98	20
O. N. O	65 16	8 50	92 50	9 19	108 91	9 53	10 39	16
N. O	65 13	6 60	91 51	7 32	107 86	7 88	9 82	20
N. N. O	64 46	6 65	91 26	7 34	106 80	7 82	9 91	15
Moyennes et sommes	64 10	6 26	90 02	6 88	105 20	7 23	10 49	224

Après avoir établi ces faits, M. Montigny a examiné si les mesures barométriques sur lesquelles reposent les altitudes calculées dont il vient d'être question, n'ont pas été affectées par des circonstances locales, particulières à la tour d'Anvers, qui auraient pu modifier l'influence du vent. Il s'est surtout attaché à prouver que les excédents des altitudes calculées appartenant à la région Ouest ne peuvent être aucunement attribués à ce que, quand le vent souffle de cette région, le portail de la cathédrale, qui est orienté à l'Ouest, opposerait un obstacle à la libre circulation des courants d'air de grande vitesse venant de cette région. On conçoit, en effet, que, si un accroissement de pression sensible résultait de cet obstacle et qu'il réagît sur le mercure de la cuvette du baromètre suspendu dans le local du bas de la tour, quoique les portes de ce local fussent fermées au moment de la mesure barométrique, alors les altitudes calculées des galeries de la tour correspondant aux vents de la région Ouest seraient affectées par l'effet de cet accroissement de pression. Mais l'auteur démontre qu'il n'en a pas été ainsi; car, si l'on calcule les altitudes des galeries, non plus à partir du bas de la tour, mais d'une galerie à l'autre, ce qui n'oblige plus à se servir des mesures du baromètre relevées au bas de la tour, ces altitudes barométriques partielles varient exactement, pour tous les vents de la région Ouest, dans le même sens que les altitudes totales, lesquelles sont déduites des mesures barométriques prises au bas de la tour, c'est-à-dire qu'alors les altitudes partielles calculées excèdent aussi en grandeur les altitudes vraies qui leur correspondent.

Les différences que les altitudes barométriques présentent dans le tableau précédent relativement aux altitudes vraies ne sont point des effets de remous du vent produits autour de l'édifice. S'il en était ainsi, on ne s'expliquerait d'aucune manière comment les altitudes calculées excèdent les altitudes vraies correspondantes pour les vents de la région occidentale, tandis que le contraire se présente pour les vents de la région orientale, puisque les influences locales aux étages supérieurs de la tour sont les mêmes pour les deux régions. La différence des altitudes barométriques à l'égard de celles-ci se montre surtout, d'une part, pour l'altitude maxima, et de l'autre, pour l'altitude minima qui ont été observées dans le cours des recherches de M. Montigny. La première s'est présentée le 8 novembre 1869, par un vent d'O. N. O., de $15^m,56$ de vitesse à la galerie supérieure. Sous son influence, elle s'est élevée à $114^m,91$, valeur qui excède de plus de un dixième l'altitude vraie (104 mètres) de la galerie supérieure dont il s'agit ici. Quant au minimum des altitudes barométriques, c'est le 10 mars 1866, par un vent d'E. N. E., de $10^m,42$ de vitesse à la galerie supérieure, qu'il s'est présenté, en ayant pour valeur $98^m,26$ sous l'influence de cette direction et de cette vitesse du vent.

M. Montigny a montré que ni les moyennes générales ni les résultats particuliers qu'il indique ne dénotent aucune liaison certaine entre les altitudes barométriques et les inclinaisons du vent, du moins telles que celles-ci ont été mesurées à la tour. Il fait remarquer aussi qu'il ne se présente aucune connexité entre ces altitudes et les températures de l'air déterminées au moment des observations, la correction dépendant de la température de l'air ayant été introduite dans le calcul de l'altitude relative à chaque observation.

Il résulte de l'ensemble des faits précédents que les altitudes barométriques mesurées à la tour d'Anvers sont en corrélation parfaitement établie, d'une part, avec la direction du vent et, de l'autre, avec sa vitesse. De plus, ainsi que M. Montigny le fait remarquer, ces variations forment un *cycle* régulier à l'égard de chacune des galeries. Pour la galerie supérieure, ce cycle est très bien représenté par la formule

$$\pm 0{,}057\, V^2 \sin(\alpha \pm 15^\circ),$$

dans laquelle V exprime la vitesse moyenne du vent que l'on considère à cette galerie, et α l'angle que sa direction forme avec la méridienne. Le facteur sin $(\alpha \pm 15^\circ)$ et la valeur 15° elle-même doivent être affectés du signe + s'il s'agit d'un vent de la région Ouest, et au contraire du signe — pour les vents de la région Est. Si l'on calcule les altitudes moyennes H' relatives à la galerie supérieure, en se servant de l'expression

$$H' = 104^m \pm 0{,}057\, V^2 \sin(\alpha \pm 15^\circ),$$

on obtient des valeurs qui concordent très bien avec les altitudes moyennes de la galerie supérieure figurant dans le tableau général.

M. Montigny fait remarquer que le cycle sur lequel il appelle l'attention ne caractérise pas seulement les altitudes barométriques relevées à la tour d'Anvers, mais qu'un cycle semblable affecte les altitudes calculées à l'égard d'autres localités, par des vents de divers azimuts. Ainsi, il a fait voir que les altitudes entre Namur et Bruxelles, qu'il a déterminées pour des moments où le même vent soufflait dans ces deux localités, présentent la même progression périodique et que, d'autre part, les différences des altitudes entre Halle, Paris, Berlin et Zurich, qui ont été calculées par Kaemtz selon les différents vents, présentent, pour chaque série, un cycle aussi complet et aussi régulier que celui des altitudes déterminées à la tour d'Anvers.

ANNEXE N° 24.

MÉMOIRE SUR LES PÉRIODES ANOMALES,

PAR M. MONTANI,

SOUS-DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE MÉTÉOROLOGIQUE IMPÉRIAL DE CONSTANTINOPLE.

I

J'appelle périodes anomales l'intervalle de temps correspondant à certaines variations périodiques, généralement très considérables, de la pression barométrique, se reproduisant constamment dans le même ordre pour un même lieu.

J'ai donné à ces périodes le nom d'anomales parce que, ainsi que je le dirai plus loin, leur durée varie d'un point à un autre sans que, pour le moment, j'aie pu découvrir à quel phénomène on pouvait les rattacher.

L'origine de leur découverte est tout à fait fortuite; cependant, comme elle se rattache à une recherche du même genre faite précédemment, je crois important de la relater ici.

Je m'occupais, il y a quelques années, de rechercher l'influence que pouvait avoir la lune sur notre atmosphère. Il me paraissait naturel de supposer qu'elle ne devait pas être sans effet sur elle, qu'il devait se produire dans notre atmosphère des phénomènes analogues aux marées. Ces phénomènes devaient être accusés par une certaine périodicité dans les mouvements généraux de la colonne de mercure, périodicité concordant avec celle des mouvements de la lune.

Pour étudier le phénomène d'une façon générale et ne pas être troublé par les petites perturbations barométriques locales, voici la marche que j'ai cru devoir suivre.

La durée moyenne de la révolution sidérale de la lune étant de 27 jours 32, j'ai considéré pour le lieu de Constantinople les hauteurs barométriques (prises à la même heure) de 82 jours consécutifs (j'ai choisi le nombre 82 qui équivaut à peu près à trois fois 27,32, afin de m'affranchir de la fraction 32/100 de jour qui eût été gênante). J'ai considéré ces 82 observations comme constituant une première série d'observations. Les observations des 82 jours suivants m'ont constitué une deuxième série d'observations et ainsi de suite jusqu'à cinq séries. L'ensemble de ces cinq séries embrassait ainsi un intervalle de temps de 410 jours. Ce nombre m'a paru suffisant pour éliminer certains écarts accidentels de la pression barométrique.

J'ai alors pris la moyenne des pressions enregistrées pour le premier jour des cinq séries, puis la moyenne des seconds jours, et ainsi de suite jusqu'au quatre-vingt-deuxième et dernier jour de chaque série. J'ai ainsi obtenu 82 nombres que j'ai considérés comme des pressions barométriques et qui m'ont servi à construire une courbe moyenne.

J'ai construit, en opérant identiquement de la même façon à partir d'une autre date, une deuxième courbe moyenne de cinq séries de 82 observations chacune et j'ai com-

paré les deux courbes obtenues. Si la lune exerçait effectivement une influence sur les pressions barométriques, il est évident que chacune des deux courbes que je venais d'obtenir devait pouvoir être décomposée en trois autres parfaitement semblables, sinon superposables, et comprenant chacune un espace d'environ 27 jours 32, et que, de plus, chaque tiers de l'une devait être analogue au tiers correspondant de l'autre. Or le fait ne s'est produit dans aucune des deux courbes moyennes, pas plus que dans d'autres obtenues de la même manière. La conséquence directe de cette vérification a donc été pour moi que la *lune n'exerce pas d'influence appréciable sur la colonne de mercure.*

Mais en examinant mes courbes de plus près, je fus frappé par ce fait que, bien que le premier tiers de l'une quelconque de ces courbes ne fût pas semblable au tiers correspondant de l'autre, l'analogie devenait frappante si je supposais que la durée de la période était de 27 jours 508 au lieu de 27 jours 32. Je reconnus que les deux parties présentaient exactement les mêmes particularités, que les maxima et minima de ces courbes correspondaient aux mêmes intervalles de temps, qu'en un mot il existait pour Constantinople une courbe type des pressions barométriques, courbe passant par certaines valeurs périodiques et correspondant à un intervalle de temps de 27 jours 5085. C'est cet intervalle de temps que j'appelle une *période*, et, bien que par elle-même l'expression n'ait aucun sens, j'appellerai, pour abréger, *forme d'une période* la forme qu'affecte la courbe représentative moyenne des pressions barométriques pendant la durée de cette période. J'appellerai également *longueur de la période* l'intervalle de temps qu'embrasse cette période. Après avoir déterminé la durée et la forme de la période anomale correspondant au lieu de Constantinople, j'ai essayé de faire la même dénomination pour d'autres lieux; j'ai alors constaté *qu'il existe une période anomale pour chaque lieu, mais que la longueur et la forme de la période varient d'un lieu à l'autre.*

C'est ainsi que pour le lieu de Paris, j'ai découvert une période dont la longueur est de 27 jours 114 environ.

En examinant plus attentivement la forme de ces périodes, j'ai remarqué qu'on pouvait en général les décomposer en plusieurs autres plus petites, que, par exemple, celle trouvée pour Paris pouvait se décomposer en trois autres ayant pour longueur 9 j. 038 environ.

Afin de vérifier l'exactitude du fait, j'ai multiplié les vérifications en choisissant des époques très éloignées les unes des autres et en me servant toujours, bien entendu, d'un même nombre de séries d'observations. J'ai toujours ainsi reconnu l'existence de cette période.

Pour rechercher la longueur de la période dans d'autres lieux, j'ai d'abord dû supposer qu'en chaque lieu la période était d'environ 9 jours, et voici la marche que j'ai suivie : Je prenais une date au hasard, et, à partir de ce jour, j'inscrivais sur une même ligne horizontale les pressions barométriques de 9 jours consécutifs, puis, sur une seconde ligne horizontale et en regard des jours correspondants, les pressions des 9 jours suivants, et ainsi de suite, de manière à former un premier groupe de dix séries d'observations de 9 jours chacune. Je prenais alors la moyenne des pressions des 10 premiers jours, puis celle des pressions des 10 seconds jours, et ainsi de suite comme je l'ai expliqué au commencement de ce mémoire. J'obtenais ainsi une courbe moyenne résultant de ces 90 observations. Si la courbe ainsi obtenue était bien la représentation d'une période, elle devait avoir une analogie complète avec la courbe obtenue de la même façon en considérant les pressions pendant les 90 jours suivants. C'est ce que je cherchais à vérifier en prenant, à partir du 91ᵉ jour, la moyenne de dix autres séries de pressions de 9 jours chacune.

Or, il se présentait généralement deux cas :

1° La correspondance des formes ainsi obtenues n'était pas parfaite, mais on pouvait

l'établir facilement en avançant d'un, de deux ou de plusieurs jours les dates de la période du deuxième groupe, ou bien en les reculant d'autant; dans le premier de ces deux cas, il était évident que la longueur des dix périodes propres au lieu considéré était de 90 jours plus le nombre de jours dont j'avais dû avancer les dates de la deuxième période dans le deuxième groupe, ou inversement, de telle sorte que la longueur de la période devenait approximativement :

$$P = \frac{90 \pm n}{10}.$$

selon que j'avais dû avancer ou reculer de n jours les dates de la deuxième période dans le deuxième groupe.

2° La correspondance des formes obtenues comme nous l'avons dit n'existait pas et ne pouvait s'obtenir en procédant comme dans le cas précédent; j'en concluais en général que, pour le lieu considéré, la période, en tant qu'elle existât, s'écartait notablement d'une longueur de 9 jours; lorsque ce cas se présentait, j'essayais successivement des longueurs plus grandes et plus petites, jusqu'à ce que j'arrivasse à une longueur telle que les deux courbes fussent analogues; je considérais alors cette longueur comme étant très voisine de la vérité, et j'arrivais à l'établir exactement par une longue série d'observations.

J'ai pu ainsi reconnaître définitivement que : *il existe pour chaque lieu une petite période caractéristique dont la longueur varie de 6 à 14 jours, les périodes plus courtes étant, en général, propres aux lieux plus voisins de l'équateur.*

Les périodes caractéristiques que l'on peut découvrir par la méthode que je viens d'indiquer ne représentent, en général, comme longueur, qu'une première approximation; pour déterminer leur longueur plus exactement, il faut pouvoir disposer d'un ensemble d'observations embrassant une longue série d'années, et se servir de groupes d'observations suffisamment éloignés les uns des autres. On procédera alors de la façon suivante : Supposons qu'une première valeur de la longueur d'une période soit approximativement 11 jours. On détermine la forme de la période au bout de cent périodes : par exemple, soit au bout de 1,100 jours à partir de l'origine. Si le nombre 11 est bien la longueur exacte de la période, on retombera pour la nouvelle forme au même point que celui qui correspondait à l'origine de la première période. Supposons que ce point tombe sur la 2e ordonnée, celle qui correspond à l'abcisse 1 (deuxième jour), au lieu de tomber exactement sur la 1re ordonnée correspondant au point 0 (premier jour). Il sera clair que la valeur de 11 jours sera trop forte de 1/100 de jour, et la valeur 10 jours 99 sera exacte, à moins d'une unité près de l'ordre des centièmes; je considérerai alors la période au bout de 10,990 jours, par exemple, et supposons que l'origine de la période corresponde dans la nouvelle courbe au point 3, j'en conclurai que la longueur correspondant à 1,000 périodes est 10,987 et non pas 10,990, c'est-à-dire que la longueur d'une période est de 10 jours 987 à 1/1000 près, et ainsi de suite.

Une fois qu'on a déterminé la longueur de la période aussi exactement que le permet l'étendue des observations dont on dispose, on peut procéder à la détermination de la forme exacte de la période, ce qui présente un peu plus de difficultés, raison pour laquelle il vaut mieux commencer par déterminer la longueur exacte.

On ne peut considérer comme réelles que les périodes dont les formes, dégagées de groupes d'observations composés d'un même nombre de séries, sont analogues. Il peut arriver que, en déterminant ainsi la forme d'une période au moyen d'un petit groupe d'observations, la forme obtenue soit plus ou moins altérée, bien que la longueur adoptée soit suffisamment exacte; voici quelques-unes des anomalies que j'ai rencontrées dans mes recherches. Tantôt certaines inflexions s'exagèrent dans un sens

ou dans l'autre, tantôt les maxima ou minima se trouvent déviés; dans d'autres cas, certaines inflexions disparaissent entièrement, ou bien il s'en présente de nouvelles; enfin toutes ces particularités peuvent se présenter à la fois; ce sont autant de difficultés qui viennent entraver la recherche des périodes; il m'est arrivé de tomber ainsi successivement sur trois ou quatre de ces courbes anomales, de rejeter par suite la longueur admise et de reconnaître, après de nouveaux et d'autant plus pénibles essais que je m'en écartais davantage, que la longueur primitivement admise était la bonne et que le hasard avait voulu que les premières époques essayées fussent les seules irrégulières.

Lorsqu'on est à peu près sûr de la longueur de la période, il faut, pour la recherche de la forme exacte, rejeter ces exceptions et ne faire entrer dans cette recherche que les formes présentant une vraie et remarquable analogie; il arrive d'ailleurs assez rarement que l'on en ait plusieurs à écarter [1].

Comme exemple des différentes déformations que j'ai rencontrées et dont je viens de parler, je donne les formes suivantes qui se rapportent au lieu de Paris et dont chacune a été obtenue au moyen de dix séries d'observations.

EXCÈS DES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES SUR 755 MILLIMÈTRES.

ORIGINE DES SÉRIES d'observations.	JOURS DE LA PÉRIODE.								
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
14 juillet 1875..	+ 0.13	— 0.66	— 0 13	— 0.53	— 0.37	— 0.46	+ 0.42	+ 0.84	+ 0.77
12 octobre 1875.	— 0.82	— 1.31	— 2.03	+ 0.80	+ 2.65	+ 2.22	— 0.55	+ 0.48	— 1.43
9 janvier 1876..	— 0.84	— 0.07	+ 0.10	— 0.29	— 0.32	+ 0.59	+ 0.88	0.00	— 0.02
10 avril 1876...	— 4.05	— 2.51	— 0.56	+ 0.85	+ 1.34	+ 1.88	+ 2.39	+ 1.99	— 1.65
9 juillet 1876..	— 1.28	+ 0.22	+ 0.10	+ 1.34	+ 1.36	— 0.75	+ 0.14	— 0.11	— 1.01
Moyenne des 50 observations..	— 1.87	— 0.87	— 0.50	+ 0.43	+ 0.93	+ 0.69	+ 0.66	+ 0.64	— 0.67
Moyenne de 250 observations.	— 0.80	— 0.39	— 0.51	+ 0.11	+ 0.56	+ 0.96	+ 0.73	+ 0.69	— 0.57

La moyenne des cinq séries d'observations a une forme différente de la vraie forme obtenue au moyen de 250 observations; on fausserait évidemment la vraie forme si l'on faisait concourir ces cinq formes à la recherche de la vraie forme. On s'en serait d'ailleurs aperçu si l'on avait commencé par construire la courbe de chaque série d'observations avant de prendre la moyenne.

Mais il est bien entendu que cela ne s'applique qu'au cas où l'on est fixé sur la longueur de la période et que l'on en est à rechercher la forme de la période. Il suffira alors d'éliminer ces formes défectueuses et de prendre un grand nombre de séries d'observations. Pour la recherche de la longueur, cela ne serait pas applicable, car avec un grand nombre de séries d'observations on n'aboutit généralement à rien, à moins que l'on ne soit par hasard tombé précisément sur une longueur de période suffisamment exacte, ce qui arrive assez rarement; il vaut mieux, dans ce cas, ne pas procéder par des séries de plus de 10 observations.

Ainsi, après avoir obtenu pour Paris la longueur de 9 jours 038, on peut procéder à la recherche de sa forme exacte au moyen de cinq groupes d'observations, par

[1] Cette proposition de triage entre les formes moyennes, je ne l'ai jamais mise en pratique. Cela uniquement pour éviter certaines objections possibles.

exemple, de cinquante séries chacun. C'est ainsi que j'ai obtenu la forme (8) résultant des cinq séries 9, 10, 11, 12, 13.

EXCÈS DES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES SUR LA MOYENNE 755 MILLIMÈTRES.

N° D'ORDRE.	ORIGINE DES SÉRIES d'observations.	JOURS DE LA PÉRIODE.								
		0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
9	2 janvier 1808...	— 1.072	— 0.826	+ 0.448	+ 0.386	+ 0.652	+ 0.396	+ 0.288	+ 1.014	+ 0.718
10	1 février 1812...	— 1.046	— 0.264	— 0.276	+ 0.062	— 0.490	+ 1.092	+ 0.682	+ 1.548	— 1.304
11	9 octobre 1871...	+ 0.129	— 0.641	— 1.499	— 0.479	+ 0.735	+ 1.151	+ 0.881	+ 0.211	— 0.485
12	4 janvier 1873...	— 0.997	+ 0.383	— 0.863	— 0.071	+ 0.561	+ 1.173	+ 1.121	— 0.163	— 1.143
13	10 avril 1876.....	— 0.998	— 0.612	— 0.362	+ 0.648	+ 1.334	+ 0.974	+ 0.700	+ 0.856	— 0.612
8	Moyenne générale.	— 0.796	— 0.392	— 0.510	+ 0.109	+ 0.558	+ 0.957	+ 0.734	+ 0.692	— 0.563

L'analogie d'ensemble se reconnaît facilement dans ces cinq séries; ainsi il y a toujours une partie concave vers les extrémités de la courbe et une partie convexe vers le milieu.

Les cas que je viens de citer sont parmi les plus défavorables et les plus difficiles. En général, l'analogie entre les courbes successives est beaucoup plus frappante et souvent elle se soutient, bien que chaque groupe d'observations soit obtenu à l'aide d'un petit nombre de séries.

Ainsi il existe pour Buenos-Ayres une période dont la longueur est d'environ 9 jours 925. Une première forme obtenue, simplement à l'aide de dix séries d'observations à partir du 1er décembre 1870, est représentée comme il suit (14).

(14) $\begin{cases} 760^{mm}13;\ 758^{mm}98;\ 756^{mm}91;\ 757^{mm}64;\ 759^{mm}79;\ 760^{mm}51;\ 759^{mm}63; \\ 758^{mm}76;\ 757^{mm}90;\ 758^{mm}69. \end{cases}$

Une deuxième forme obtenue de la même façon est la suivante:

(15) $\begin{cases} 765^{mm}00;\ 763^{mm}00;\ 761^{mm}50;\ 761^{mm}30;\ 764^{mm}50;\ 765^{mm}60;\ 765^{mm}50; \\ 764^{mm}30;\ 764^{mm}08;\ 764^{mm}40. \end{cases}$

L'analogie entre ces deux formes est frappante; et cette analogie se soutient encore si, au lieu de dix séries d'observations, on ne prend que cinq séries.

II

FORME DES PÉRIODES ANOMALES.

Lorsque la période est simple, il est facile de constater que sa forme est épicycloïdale, ainsi que nous le verrons. Quand la période est compliquée, elle est composée d'un enchevêtrement d'épicycloïdes (le rayon moyen de la base de la roulette étant le rayon de la terre). Mais, comme il est en général excessivement difficile de dégager les épicycloïdes qui ont concouru à donner la forme générale de la période, il faut, dans ce dernier cas, se contenter d'entrevoir la forme épicycloïdale. Si l'on cherche à éliminer les épicycloïdes correspondant à des périodes plus courtes, harmoniques de la période plus longue envisagée, la courbe simple qui correspondrait à la longueur totale de la période est ordinairement une courbe du genre sinussoïde dans laquelle,

au lieu des sinus simples, on emploierait des puissances impaires de ces sinus. Je ne veux pas, d'ailleurs, m'étendre davantage sur cette dernière observation, dont je compte faire le sujet d'un nouveau travail.

Un exemple remarquable de période simple est celle du lieu de Holyhead; elle est de 9 jours 532. La courbe régulière autour de laquelle oscille la courbe représentative de la période est une épicycloïde dont on aurait amplifié chaque ordonnée dans le même rapport. Le tableau suivant donne les hauteurs correspondant à chaque jour de la période et en regard l'ordonnée de l'épicycloïde correspondant aux mêmes abscisses.

JOURS DE LA PÉRIODE.	MOYENNE DES SÉRIES de 84 OBSERVATIONS à partir du 10 octobre 1868.	ORDONNÉES DE L'ÉPICYCLOÏDE.
0	754.58	754.58
1	757.15	757.30
2	758.26	758.35
3	759.07	758.96
4	759.30	759.27
5	759.61	759.35
6	759.15	759.17
7	758.51	758.69
8	758.09	757.88
9	756.16	756.45
9.532	754.58	754.58

Lorsque les moyennes donnent pour la période une forme compliquée, la reproduction théorique de ces formes est souvent hérissée de difficultés et on ne peut encore y arriver que par tâtonnement. Il faut commencer par déterminer, pour le lieu considéré, la forme habituelle des accidents de la dépression barométrique. On en conclura à peu près l'espèce d'épicycloïde à employer pour reproduire la forme théorique. Cette forme résulte en général d'une combinaison plus ou moins compliquée d'épicycloïdes de même espèce, dont les axes de symétrie correspondront à diverses dates de la période. Si la période est de 9 jours, par exemple, l'épicycloïde sera déterminée par 9 points également distants. On distribuera alors sur le papier les valeurs des 9 ordonnées correspondantes de manière que la grande dépression accusée par la courbe corresponde aux différentes dépressions accusées par la forme moyenne; on prendra la somme de tous les termes superposés, on la multipliera au besoin par un certain facteur, de manière à avoir une forme de courbe se rapprochant autant que possible de celle qu'on veut reproduire; on comparera ensuite les deux courbes, on considérera les différences des ordonnées; on se fera alors une idée de la façon dont il faudra modifier le résultat obtenu pour que celui-ci représente la forme moyenne donnée par les observations. En opérant ainsi, on pourra reproduire les formes les plus compliquées et on pourra déterminer la vraie forme de la période, ainsi que la limite des déplacements que l'onde qu'elle présente éprouve par rapport à un point fixe de la période.

Afin d'éclaircir tout ce qui peut paraître confus dans le paragraphe qui précède, je vais donner un exemple de cette recherche en choisissant le lieu de Paris, pour lequel j'ai déjà indiqué une période de 9 jours 038. Voici la suite des calculs à faire :

NUMÉROS D'ORDRE DES ÉPICYCLOÏDES.	JOURS DE LA PÉRIODE.								
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1re épicycloïde	−0.14	+0.26	+0.44	+0.51	+0.51	+0.44	+0.26	−0.14	−1.06
2e	−1.06	−0.14	0.26	0.51	0.51	0.51	0.44	+0.26	−0.14
3e	−0.14	−1.06	−0.14	0.44	0.44	0.51	0.51	0.44	0,26
4e	0.26	−0.14	−1.06	0.26	0.26	0.44	0.51	0.51	0.44
5e	0.44	0.26	−0.14	−0.14	−0.14	0.26	0.44	0.51	0.51
6e	−0.49	0.09	0.37	0.49	0.54	0.49	0.37	0.09	−0.49
Sommes	−1.13	−0.73	−0.27	0.50	2.12	2.65	2.83	1.67	−0.50
1/2 sommes	−0.56	−0.36	−0.13	0.25	1.06	1.32	1.26	0.83	−0.25
On diminue chaque terme de + 0.30, ce qui donne (a)	−0.86	−0.66	−0.43	−0.05	+0.76	+1.02	+0.96	+0.53	−0.55
TERMES À AJOUTER À CHAQUE ORDONNÉE.									
1re épicycloïde	−1.06	−0.14	0.26	0.44	0.51	0.51	0.44	0.26	−0.14
2e	0.26	−0.14	−1.06	−0.14	0.26	0.44	0.51	0.51	0.44
3e	0.51	0.44	0.26	−0.14	−1.06	−0.14	0.26	0.44	0.51
4e	0.51	0.44	0.26	−0.14	−1.06	−0.14	0.26	0.44	0.51
5e	0.44	0.51	0.51	0.44	0.26	−0.14	−1.06	−0.14	0.26
6e	0.44	0.51	0.51	0.44	0.26	−0.14	−1.06	−0.14	0,26
7e	−0.14	0.26	0.44	0.51	0.51	0.44	0.26	−0.14	−1.06
Sommes	0.96	1.88	1.18	1.41	−0.32	0.83	−0.39	1.23	0.78
1/4 sommes	0.24	0.47	0.29	+0.35	−0.08	0.21	−0.40	+0.31	0.19
On diminue chaque terme de — 0.20, ce qui donne (b)	0.04	0.27	0.09	0.15	−0.28	0.01	−0.30	0.11	−0.01
Ajoutant (a)	−0.86	−0.66	−0.43	−0.05	+0.76	+1.02	+0.96	+0.53	−0.55
Sommes (a + b)	−0.82	−0.39	−0,34	+0.10	+0.48	+1.03	+0.66	+0.66	−0.56
Valeurs d'après les moyennes d'observations	−0.80	−0.39	−0.51	+0.11	+0.56	+0.96	+0.73	+0.69	−0.56

On voit que les différences entre ces deux formes sont négligeables.

La forme ainsi obtenue résulte aussi de 19 épicycloïdes de même espèce, dont la valeur représentative de chacun de leurs termes serait le quart de la valeur des termes de l'épicycloïde dont je me suis servi dans mes opérations. Chaque dépression observée dans la courbe moyenne résulte de la combinaison de plusieurs minima épicycloïdaux dont le nombre est représenté ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	8.5
Nombre des points épicycloïdaux qui concourent à la formation des dépressions	19	12	19	12	14	0	7	0	19	12 (c)
	7	0	7	0	2	0	7	0	7	0 (d)

Il est évident que du point o de la période au point 4, et du point 8 au point o de la période suivante, on constate le déplacement continu de l'axe d'une épicycloïde, sorte de balancement autour d'une position moyenne correspondant au point 1.5 de la période. Si je soustrais alors le nombre 12 commun aux termes représentant la somme des minima épicycloïdaux en chaque point (*c*), j'obtiens pour chaque point le nombre des minima épicycloïdaux (*d*) qui, en dehors de l'onde principale, viennent modifier la forme de la période. Pour construire une courbe se rapprochant autant que possible de la forme vraie de la période, il me suffira de commencer par faire coïncider le minimum d'une première épicycloïde[1] avec le point 1.5 de la période et de multiplier par 12 chacun de ses termes; je ferai coïncider ensuite les minima d'épicycloïdes de même espèce avec les points o, 2, 6 et 8, je multiplierai par 7 chacun de leurs termes, et enfin je ferai coïncider avec le point 4 le minimum d'une autre épicycloïde du même genre en multipliant chacun de ses termes par 2. Cela fait, je sommerai tous les termes qui se correspondent et je diviserai par 4. J'aurai alors l'expression correspondant à la vraie forme de la période.

DÉSIGNATION DES OPÉRATIONS.	JOURS DE LA PÉRIODE.								
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Termes de la 1re épicycloïde multipliés par 12	1.08	—5.88	—5.88	1.08	2.44	5.88	6.48	5.88	4.44
Idem de la 2e, multipliés par 7	—7.42	—0.98	1.82	3.08	3.57	3.57	3.08	1.82	—0.98
Idem de la 3e, multipliés par 7	1.82	—0.98	—7.42	—0.98	1.82	3.98	3.57	3.57	3.08
Idem de la 4e, multipliés par 7	3.08	3.57	3.57	3.08	1.82	—0.98	—7.42	—0.98	1.82
Idem de la 5e, multipliés par 7	—0.98	1.82	3.08	3.57	3.57	4.68	1.82	—0.98	7.42
Idem de la 6e, multipliés par 2	1.02	0.88	0.52	—0.28	—2.06	—0.28	0.52	0.88	1.02
Sommes A (A)	—1.40	—1.57	—4.31	9.55	11.16	14.35	8.05	10.19	1.96
1/4 sommes A (B)	—0.35	—0.39	—1.08	2.39	2.79	3.59	2.01	2.55	0.49

Cette dernière courbe (B) est la vraie forme de la période de 9 jours o38 propre au lieu de Paris, forme dégagée des altérations dues à l'oscillation de l'onde principale. Elle rend parfaitement compte de toutes les particularités que l'on peut remarquer dans les formes déduites de différentes séries d'observations.

La méthode que je viens d'indiquer peut s'appliquer aux formes de toutes les périodes, quel que soit, d'ailleurs, le nombre de séries d'observations employées. Les formes moyennes ont le précieux avantage de conserver la trace de toutes les anomalies et de permettre de les éliminer si le besoin s'en fait sentir.

L'oscillation éprouvée par l'onde principale dans l'exemple donné est facilement reconnaissable à la simple inspection des tableaux d'observations faites à Paris. Dans un certain nombre de cas, l'oscillation est plus faible et la vraie forme de l'onde principale se dessine d'une façon assez caractéristique, ainsi qu'on peut le remarquer pour le lieu de Holyhead.

Si l'on consulte les tableaux d'observations faites à Paris, on y reconnaît que les dépressions successives, correspondantes à la période que nous venons d'envisager, n'ont pas toutes la même valeur, qu'elles varient même entre des limites assez grandes. Cela

[1] Il s'agit d'une épicycloïde dont les termes ont la même valeur que ceux de l'épicycloïde dont je me suis servi précédemment.

tient au phénomène de l'interférence des ondes et aussi probablement à la constitution même de notre atmosphère. Les formes que nous venons de déterminer sont censées correspondre à un certain état invariable de l'atmosphère et être dégagées des effets de l'interférence. Elles seront considérées comme résultant de l'action d'une force de grandeur déterminée. La force qui sollicite les molécules de l'air variant de grandeur, les épicycloïdes qui en résultent peuvent varier d'espèce, et la période, tout en conservant la même longueur, aura ses accidents plus ou moins accusés.

La constatation de la forme épicycloïdale que présentent les périodes anomales a une grande importance au point de vue de la physique générale; elle établit une liaison de plus entre la mécanique des liquides et celle des fluides aériformes. Ce sont de véritables vagues aériennes affectant la forme des vagues liquides. Toute théorie s'appuyant sur les mouvements de l'atmosphère devra donc bien tenir compte des faits que je viens d'établir.

III

FORMES THERMIQUES CORRESPONDANTES AUX FORMES BAROMÉTRIQUES DES PÉRIODES ANOMALES.

Considérons le lieu de Constantinople et construisons la courbe moyenne des pressions barométriques d'une période anomale, au moyen d'un petit groupe d'observations à partir du 1er janvier 1876 par exemple. Construisons, à partir de la même date, et au moyen du même nombre de groupes d'observations, pour la même période de 10 jours 040, la courbe moyenne des températures. Cette courbe est également périodique et la période est exactement de la même longueur; mais, si on les considère toutes deux comme ayant la même date pour origine, les formes se contrarient; là où la courbe barométrique présente un maximum, la courbe thermométrique présente un minimum. Mais si l'on considère l'origine de la période thermométrique comme commençant 4 jours avant la période barométrique, c'est-à-dire le 0 de la période thermométrique comme correspondant à la date 6 de la période barométrique, les deux courbes présentent une concordance parfaite [1]. La concordance des deux périodes est la suivante. Appelons toujours 0 l'origine de chaque période, nous aurons pour Constantinople le tableau suivant [2] :

DÉSIGNATION DES OPÉRATIONS.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Correspondance avec la date de la période thermique.......	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Forme barométrique.........	764.3	763.5	763.2	762.8	763.5	764.8	765.6	766.0	764.4	763.3
Forme thermique...........	11°3	8°4	7°5	10°0	10°1	10°5	11°6	11°6	10°6	9°8
Correspondance avec la date de la période barométrique....	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5

[1] On aurait pu dire que la période thermométrique commence 6 jours après la période barométrique; mais, dans ce cas, on va au-devant d'une singulière anomalie physique.

[2] La première ligne indique les dates de l'une quelconque des deux périodes; la troisième et la quatrième ligne donnent les ordonnées des deux courbes pour le jour correspondant de la pé-

J'ai vérifié pour un grand nombre de lieux la concordance entre les formes des deux périodes, et elle ne s'est jamais démentie; seulement, quant à l'*origine* de la période thermique, j'ai remarqué qu'*elle est contemporaine avec celle de la période barométrique ou qu'elle en diffère de 1, 2, 3... jours suivant que le lieu considéré est à l'équateur ou s'en éloigne de plus en plus.* Comme exemple, je puis citer Batavia. La longueur de la période pour Batavia est de 7 jours 00961, l'origine étant prise au 1er janvier 1866 (6 heures du matin). Je détermine les deux formes barométrique et thermique et j'obtiens le résultat suivant :

DÉSIGNATION DES OPÉRATIONS.	JOURS DE LA PÉRIODE.						
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Correspondance avec la date de la période thermique	0	1	2	3	4	5	6
Forme barométrique	758.903	758.854	758.568	758.526	759.081	759.056	759.141
Forme thermique	23°06	23°24	22°90	23°24	23°28	23°44	23°40
Correspondance avec la date de la période barométrique	0	1	2	3	4	5	6

Les deux formes sont obtenues au moyen d'un nombre relativement considérable de séries, car les variations barométriques et thermométriques sont très faibles pour le lieu de Batavia.

Pour Buenos-Ayres, lieu situé entre Batavia et Constantinople [1], la concordance a lieu à trois jours d'intervalle; à Moscou, l'intervalle entre les deux origines est de 6 jours.

ORIGINE DU JOUR MÉTÉOROLOGIQUE.

En recherchant les périodes thermiques, je me suis aperçu d'une grave erreur que les météorologistes commettent lorsqu'ils déterminent la température moyenne diurne et qui tient à ce que l'on a fixé à *minuit* l'origine du jour météorologique. La conséquence est que, pour déterminer la température moyenne, on fait concourir la température minimum du matin avec la température maximum de l'après-midi, ce qui est faux. Il est bien évident, pour peu qu'on y réfléchisse, que généalogiquement une température minimum se rattache au maximum précédent, et non au maximum suivant; ce minimum résulte évidemment du refroidissement de l'air échauffé la veille et non de celui qui sera échauffé plus tard; si l'on s'en tenait là simplement, la question semblerait être plutôt de pure théorie que de pratique, mais nous allons voir que les conséquences sont plus graves, que la température moyenne diurne, telle qu'elle est

riode. La deuxième ligne indique où en est la période thermique pour la date de la période barométrique indiquée au-dessus du chiffre considéré, et la cinquième ligne où on en est de la période barométrique pour la date de la période thermique inscrite dans la première ligne, exemple : Après 4 jours (première ligne) à dater de l'origine de la période, le baromètre marque 763mm5 (troisième ligne) et la période thermique correspondante en est au 8e jour; après 7 jours (première ligne) à dater de l'origine de la période thermique, le thermomètre marque 21° 6, et la période barométrique correspondante a commencé depuis deux jours.

[1] En faisant abstraction du signe de la latitude, bien entendu.

indiquée dans tous nos registres d'observatoires, ne saurait être propre à aucun usage scientifique et ne peut mener qu'à des erreurs.

Considérons une période thermique quelconque obtenue à l'aide même d'un petit nombre d'observations à l'heure du maximum. Nous aurons une période thermique maximum. Déterminons également la période thermique minimum à partir de la même date météorologique ; nous verrons que les formes obtenues sont parfaitement analogues, mais pas concordantes. Pour qu'elles le deviennent, il nous suffira de reculer d'un jour les dates de la période thermique minima, ce qui prouve bien que le minimum du matin *doit forcément* se rattacher au maximum de la veille.

Comme exemple, choisissons le lieu de Constantinople, pour lequel la période est de 10,04. Les résultats obtenus en considérant les dates météorologiques telles qu'elles sont établies actuellement sont les suivantes :

DÉSIGNATION DES COURBES.		JOURS DE LA PÉRIODE.									
		0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Courbes	maximum............	10°27	9°58	9°22	8°75	9°42	10°84	11°43	12°02	10°64	9°28
	minimum............	3 78	4 44	3 38	3 56	3 35	3 87	3 75	4 70	5 50	4 17

Pour obtenir la concordance entre les deux séries, il faut faire coïncider le n° 1 de la deuxième courbe avec le n° 0 de la première courbe, on a alors :

Maximum..	10°27	9°58	9°22	8°75	9°42	10°84	11°43	12°02	10°64	9°28
Minimum..	4 44	3 38	3 56	3 35	3 87	3 75	4 70	4 50	4 17	3 78

La concordance étant ici établie, je puis prendre sans inconvénient la moyenne des termes correspondants, et je suis dans le vrai, tandis que si je prends la moyenne dans le cas précédent, j'obtiens un *nombre,* mais qui n'a aucune signification. Rien n'empêcherait dès lors de considérer le maximum d'aujourd'hui et le minimum à la même date météorologique du mois prochain, pour avoir la moyenne d'aujourd'hui. L'erreur est d'autant plus grande en opérant comme on le fait que les écarts sont plus considérables ou plus serrés.

La demi-somme des termes superposés dans les deux premières séries donne la forme suivante :

7°02 7°01 6°30 6°15 6°38 7°35 7°59 8°36 8°07 6°72

La forme des deux autres séries est la suivante :

7°35 6°48 6°39 6°05 6°64 7°29 8°06 8°76 7°40 6°53

Les différences sont, on le voit, assez considérables ; elles arrivent à dépasser un demi-degré.

L'observation est d'autant plus importante que toutes ces erreurs s'accumulent lorsque l'on emploie, pour la recherche des formes thermiques, la température moyenne telle qu'elle est enregistrée dans les recueils d'observations météorologiques, et empêche de trouver la moindre concordance dans ces formes. C'est ainsi que pendant fort longtemps toutes les recherches que j'ai faites au sujet des périodes thermiques ne m'ont conduit à aucune sorte de résultat, et que j'allais y renoncer complètement et, je dois le dire, avec regret, lorsque j'ai songé à cette cause d'erreur. J'ai dû reprendre

alors tous mes calculs et suis, mais seulement alors, arrivé aux résultats parfaitement définis que j'ai exposés plus haut. La conséquence de tout ce qui précède est que l'*on commet une erreur flagrante dans la façon d'obtenir la température moyenne diurne, que cette erreur provient de la façon de compter le jour météorologique, qu'en conséquence il faut y porter remède,* et l'occasion est belle en ce moment. Il faudrait fixer l'origine conventionnelle du jour météorologique de façon à satisfaire aux exigences du service météorologique et aussi aux nécessités de la science.

IV

LES CYCLONES ET ANTICYCLONES SONT DES PHÉNOMÈNES DE MÊME ESPÈCE COMPLÉMENTAIRES ET QUI SEMBLENT PÉRIODIQUES.

Si l'on observe la disposition des courbes isobarométriques, on remarque qu'elles ont une grande tendance à affecter une forme circulaire dans le cyclone et l'anticyclone. Les phénomènes sont alors de même espèce, et complémentaires sous un certain rapport.

Si l'on opère sur les courbes isobarométriques comme lorsque l'on veut établir le profil d'une section de terrain représentée sur le papier par des courbes de niveau, le profil que l'on obtient dans le cas d'un cyclone et d'un anticyclone est une courbe du genre épicycloïde, et l'on peut toujours, en choisissant une échelle convenable pour les hauteurs, construire une épicycloïde présentant la plus grande analogie avec elle. L'épicycloïde est ordinairement une *épicycloïde raccourcie,* la partie concave appartenant au cyclone, la partie convexe à l'anticyclone.

Comme exemple, je prendrai les courbes isobarométriques données par l'atlas de M. Mohn pour le 25 janvier 1868, soir, par exemple.

Le tableau suivant indique les différences entre les ordonnées de la courbe barométrique et celles de l'épicycloïde raccourcie correspondante.

DÉSIGNATION DE LA POSITION.	VALEURS DES ABSCISSES.	HAUTEURS BAROMÉTRIQUES d'après la carte de M. Mohn.	ORDONNÉES CORRESPONDANTES de l'épicycloïde raccourcie.
Centre du cyclone...........	0.0	731.5	731.6
	6.5	735.0	735.0
	10.1	740.0	739.0
	14.5	745.0	744.5
	19.0	750.0	750.0
	24.0	755.0	756.0
	28.5	760.0	760.3
	34.5	765.0	765.0
	39.0	770.0	767.5
	48.0	775.0	773.5
	64.5	780.0	780.0
Centre de l'anticyclone.......	74.5	781.0	781.0

La forme épicycloïdale des cyclones et des anticyclones est frappante, et on peut la constater dans chaque cyclone et anticyclone en opérant comme je viens de le dire,

lorsque l'on voudra étudier la constitution mécanique de ces phénomènes, on devra donc tenir compte de cette forme épicycloïdale qui les caractérise.

Les cyclones et anticyclones sont des phénomènes équivalents et périodiques; on obtiendra la longueur de la période en cherchant le plus grand commun diviseur des temps qui séparent les époques successives de ces phénomènes dans un même lieu. C'est ainsi que pour le lieu de Holyhead, je trouve pour valeur de la période cyclonique le nombre 8 jours 978, le minimum se rapportant à la date du 16 janvier 1871.

Voici les apparitions de cyclones et d'anticyclones dont le centre a passé par Holyhead à partir de 1864 :

15 novembre 1864 16 janvier 1871	}	2,253 jours ou 251 × 8^j 978 (= 2,253.5).
16 janvier 1871 22 janvier 1873	}	737 jours ou 82 × 8^j 978 (= 736.2).
22 janvier 1873 26 février 1873	}	36 jours ou 4 × 8^j 978 (= 35.9).
16 janvier 1874 16 janvier 1877	}	1,096 jours ou 122 × 8^j 978 (= 1,095.3).

Or, si le même résultat se vérifiait pour d'autres époques, le fait acquerrait la plus grande importance, car si cela ne suffisait pas pour pouvoir affirmer l'apparition d'un cyclone pour une date donnée et pour un certain lieu, cela suffirait pour avoir l'assurance qu'aucune apparition de cyclone n'est à craindre en dehors de cette date pour ce lieu.

Comme l'anticyclone correspond au sommet convexe de l'épicycloïde raccourcie, et le cyclone à son sommet concave, ces deux portions de courbes ne sont pas complémentaires numériquement parlant; il en résulte que la moyenne entre les deux phénomènes est représentée par une courbe à deux inflexions. C'est ce caractère générique que l'on remarque toujours dans les formes cycloniques déterminées à l'aide de moyennes.

Si, en un certain lieu, les apparitions de cyclones sont plus fréquentes que les apparitions d'anticyclones, l'une des inflexions caractéristiques sera plus accusée que l'autre. On obtiendra ces formes en prenant la moyenne des termes correspondants de deux épicycloïdes superposées de manière que la convexité de l'une corresponde à la concavité de l'autre; si les apparitions des deux phénomènes ne sont pas en nombre égal, on multipliera les termes de chaque épicycloïde par le rapport correspondant et on prendra alors la moyenne.

Voici la forme des périodes cycloniques de divers points des Antilles et du continent américain. Comme le nombre des observations précises faites en ces points est restreint relativement, je ne les donne pas comme absolues, mais simplement comme se rapprochant beaucoup de la forme vraie:

BRIDGETOWN (BARBADE).

LONGUEUR DE LA PÉRIODE............... 7^j 84585.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
25 janvier 1875....................	763.36	764.43	764.26	763.92	764.22	764.49	764.36	764.00

Dates d'ouragans qui ont sévi à la Barbade :

31 août	1675	74,858 jours $= 9{,}541 \times 7^j\ 84585$ (= 74,857^j 25).
10 septembre	1780	
29 septembre	1830	18,281 jours $= 2{,}330 \times 7^j\ 84585$ (= 18,281^j 00).
1er août	1831	306 jours $= 39 \times 7^j\ 84585$ (= 306^j 00).

Du 31 août 1675 au 25 janvier 1875, l'intervalle est de :

109,382 jours $= 13{,}935 \times 7^j\ 84585$.

Comme je l'ai dit, on ne peut pas affirmer que, tous les 7 jours 84585, il y aura apparition d'un cyclone, mais on peut affirmer (probablement) qu'il n'y aura pas de cyclone un jour quelconque dont la distance à l'une quelconque des dates précédentes ne sera pas un multiple de 7 jours 84585.

POINTE-À-PÎTRE (GUADELOUPE).

LONGUEUR DE LA PÉRIODE................ 7^j 8282.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
27 janvier 1875..................... 6 décembre 1875..................	761.02	761.66	762.10	761.78	762.06	761 88	761.80	761.76

Dates d'ouragans qui ont sévi à la Guadeloupe :

3 décembre	1804	7,359 jours $= 940 \times 7^j\ 8282$ (= 7,358^j 5).
26 janvier	1825	181 jours $= 23 \times 7^j\ 8282$ (= 180^j 0).
26 juillet	1825	
17 août	1827	752 jours $= 96 \times 7^j\ 8282$ (= 751^j 5).

Du 3 décembre 1804 au 6 décembre 1875, l'intervalle est de :

25,935 jours $= 3{,}313 \times 7^j\ 8282$.

FORT-DE-FRANCE (MARTINIQUE).

LONGUEUR DE LA PÉRIODE................ 10^j 1714.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
7 décembre 1876............	759.57	760.08	759.91	759.66	759.73	760.29	760.53	759.73	760.00	759.72

A cette période correspondent deux points cycloniques, l'un coïncide avec le point 0, l'autre avec le point 3.

Dates d'ouragans qui ont sévi à la Martinique :

10 octobre 1780 7 décembre 1876	35,122 jours = 3,453 × 10^j 1714 (= $35,121^j$ 8).
4 septembre 1804 10 décembre 1876	26,395 jours = 2,595 × 10^j 1714 (= $26,395^j$ 0).
17 août 1827 10 août 1831	1,454 jours = 143 × 10^j 1714 (= $1,454^j$ 5).
17 août 1827 26 juillet 1837	3,631 jours = 357 × 10^j 1714 (= $3,631^j$ 2).
4 septembre 1804 17 août 1827	8,382 jours = 824 × 10^j 1714 (= $8,381^j$ 3).

On voit que l'ouragan du 10 octobre 1780 correspond au point 0 de la période; tandis que les autres correspondent au point 3.

PORTO-RICO.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE.............. 7^j 666268.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	6.67.
11 février 1875....................	763.75	764.28	764.77	765.54	765.54	765.26	764.73	764.50

Dates d'ouragans qui ont sévi à Porto-Rico :

4 décembre 1804 11 février 1875	25,636 jours = 3,344 × 7^j 666268.

SAINT-THOMAS.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE.............. 8^j 245436.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
7 décembre 1875....................	766.66	768.30	768.68	768.06	767.94	768.24	768.14	768.02

Dates d'ouragans qui ont sévi à Saint-Thomas :

29 septembre 1819 12 août 1830	4,065 jours = 493 × 8^j 245436.
29 septembre 1819 7 décembre 1875	20,523 jours = 2,489 × 8^j 245436.

SANTIAGO DE CUBA.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE............. 9^j 2517482.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.								
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
30 janvier 1875..................	759.24	759.67	759.94	759.86	759.74	759.77	760.09	759.70	759.44

Dates d'ouragans qui ont sévi à Santiago de Cuba :

13 avril 1831
30 janvier 1875 } 15,876 jours = 1,716 périodes.

LA HAVANE.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE........... 10^j 1541871.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
29 janvier 1875.............	757.56	758.36	759.52	759.68	759.68	760.31	760.59	760.30	758.79	758.20

Dates d'ouragans qui ont sévi à la Havane :

12 octobre 1846
29.5 janvier 1875 } 10,306^j 5 = 1,015 périodes.

KEY-WEST.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE........... 10^j 3911392.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
8 janvier 1875.............	763.33	764.53	765.12	765.90	765.33	765.27	764.78	765.72	765.59	765.03

Dates d'ouragans qui ont sévi à Key-West :

5 octobre 1844
8 janvier 1875 } 41,045 jours = 3,950 périodes.

NOUVELLE-ORLÉANS.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE............ 10^{j} 183161.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
3 janvier 1875............	763.58	765.64	767.50	767.48	766.02	764.62	764.72	764.78	766.12	765.74

Dates d'ouragans qui ont sévi à la Nouvelle-Orléans :

17 août 1831 }
3 janvier 1875 } 15,845 jours = 1,556 périodes.

CHARLESTON.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE............ 10^{j} 376539.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
4 janvier 1875............	764.97	767.68	768.23	766.43	765.18	765.72	765.98	767.72	768.10	766.80

Dates d'ouragans qui ont sévi à Charleston :

15 septembre 1752 } 13,056 jours = 1,740 périodes.
21 février 1802 }
4 janvier 1875 } 26,615 jours = 2,565 périodes.

CAP HATTERAS.

LONGUEUR DE LA PÉRIODE................ 10^{j} 42.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
31 janvier 1875............	760.90	765.50	767.90	763.39	761.34	766.21	767.26	763.68	762.49	762.88

Dates d'ouragans qui ont sévi au cap Hatteras :

23 décembre 1811, 8 h. soir } $23{,}049^{j}$ 5 = 2,212 périodes.
31 janvier 1875, matin }
23 août 1827 } $17{,}328^{j}$ 0 = 1,663 périodes.

Si, comme les relations que je viens de citer semblent le prouver, les ouragans n'apparaissent qu'à un jour déterminé d'une période, la météorologie se trouverait disposer d'une connaissance précieuse. Car au moment où l'apparition d'un ouragan sera signalée quelque part, sa trajectoire sera connue facilement et la date de son apparition dans les autres points sera indiquée par la position du minimum dans la forme de la période propre à chaque lieu.

Les périodes cycloniques peuvent aisément se déterminer pour les points situés à la surface des océans, grâce aux cartes météorologiques qui se publient chaque jour. On choisira un point déterminé, on notera les dates correspondant aux passages du centre des cyclones ou d'anticyclones, on prendra le plus grand commun diviseur des intervalles de temps des passages successifs, on aura la longueur de la période cyclonique. On en déterminera ensuite la forme à l'aide de la succession jour par jour des pressions barométriques en ce lieu. Pour le nord de l'océan Atlantique, les variations barométriques sont tellement considérables qu'il suffit de connaître les pressions à 2 ou 3 millimètres près.

Les périodes cycloniques ne représentent qu'un cas particulier des périodes anomales; elles sont caractérisées par la fréquence relative d'ondes circulaires qui se présentent en de certains points déterminés de la période.

L'état de rotation de ces systèmes est une conséquence de leur forme; l'air accumulé ou comprimé dans une partie, tendant à se porter vers la partie raréfiée de l'onde, éprouve une déviation dans sa direction par l'effet de la rotation de la terre, ce qui fait que l'onde entière doit se mettre à tourner autour de son axe de symétrie, le sens de la rotation étant inverse dans les deux cas. A l'équateur, la déviation éprouvée étant nulle, il ne saurait y avoir de giration cyclonique. Dans le cas d'un cyclone, les molécules d'air tendant à se rapprocher du centre, la vitesse de rotation tendra à augmenter à mesure qu'on se rapproche de l'axe de symétrie de l'onde, c'est-à-dire que l'on suit le mouvement des molécules. Dans l'anticyclone, c'est l'inverse qui doit avoir lieu et qui a lieu du reste. La somme des forces vives dans le premier cas est nécessairement bien plus grande que dans le second; les molécules semblent devoir être groupées comme le volume d'un solide engendré par la rotation d'une demi-épycicloïde prise d'un axe de symétrie à l'autre et tournant autour de l'un de ces axes.

Je m'arrête ici, car ce genre d'analyse m'entraînerait tout à fait en dehors du sujet que j'entends développer présentement; si j'en ai dit quelques mots, c'est que le phénomène de rotation que présentent les ondes circulaires est la conséquence directe de la forme envisagée.

DES PÉRIODES QUI SEMBLENT FORMER DES ASSOCIATIONS HARMONIQUES.

Dans certains cas, les périodes anomales semblent former des associations harmoniques. Quelquefois l'association est peut-être réelle, mais il peut arriver aussi qu'elle ne soit que purement accidentelle et due seulement à ce que les longueurs des périodes considérées diffèrent très peu des longueurs qu'elles devraient avoir pour représenter les termes d'une série harmonique, et si la différence est très petite il faudrait peut-être quelques centaines d'années d'observations pour pouvoir dégager entièrement ces périodes et vérifier les résultats. Pour le moment, on ne peut donc considérer la réalité de ces associations que comme tout à fait problématique.

C'est ainsi que pour le lieu de Constantinople je rencontre une période de 110 j.033 comprenant un certain nombre d'autres périodes réelles. Il est certain que la période de 110 jours 033 existe; mais, ainsi que je viens de le dire, on ne pourrait en dire autant de l'association que cette période présente. Parmi ses harmoniques, je remarque une période dont la longueur est de 27 jours 508, soit le quart de la grande.

Cette dernière période en comprend trois autres de 9 jours 1693 chacune; elles sont évidentes à la seule inspection de la courbe représentative de la période de 27 jours 508 qui les contient. Voici cette période dont l'origine est le 1er janvier 1865 ; chaque terme est le résultat de 200 observations.

JOURS DE LA PÉRIODE.	MOYENNES DES OBSERVATIONS. 761mm,41	JOURS DE LA PÉRIODE.	MOYENNES DES OBSERVATIONS. 761mm,41
0	— 0.81	14	0.53
1	— 0.24	15	0.48
2	+ 0.22	16	0.42
3	0.05	17	0.25
4	0.43	18	— 0.23
5	0.27	19	+ 0.20
6	0.30	20	— 0.30
7	— 0.07	21	— 0.37
8	— 0.15	22	— 0.58
9	— 0.35	23	— 0.30
10	— 0.08	24	+ 0.09
11	— 0.07	25	0.02
12	— 0.01	26	— 0.31
13	+ 0.32	26.508	— 0.69

Depuis 1865 jusqu'en 1878, il ne s'est produit à Constantinople que deux perturbations atmosphériques faisant événement. Ce sont : 1° le grand orage du 26-27 septembre 1866, et 2° l'ouragan du 31 août-1er septembre 1873. Ces deux perturbations correspondent au point 0 de la période indiquée.

Une période que l'on pourrait être porté à considérer comme faisant partie harmonique de la longue période de 110 jours environ dont je viens de parler est la suivante, de 10 jours 04, dont l'origine est rapportée au 1er janvier 1865.

ORIGINE DE LA PÉRIODE.	JOURS DE LA PÉRIODE.									
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1er janvier 1865	0.30	— 1.13	— 1.24	— 0.60	0.61	1.38	0.40	0.19	1.08	1.36

Cette période est cyclonique; l'orage du 26-27 septembre 1866 et l'ouragan du 31 août-1er septembre 1873 correspondent au point 2 de la période. Le 21 novembre 1874, il a passé à Constantinople un petit cyclone; il correspond au nombre 7 de la période. Cette période se trouve donc parfaitement caractérisée comme étant cyclonique.

La longueur de cette période se rapproche beaucoup de celle qui devrait exister pour représenter l'harmonique 1/11 de la grande période, et la confusion sous ce rapport est d'autant plus à craindre que les harmoniques 1/10 et 1/12 semblent être représentées par des périodes réelles, ou au moins la confusion est-elle possible.

On peut trouver également pour Paris une période longue de 42 jours 2 environ, mais l'association qu'elle présente ne paraît avoir rien de certain.

Nous n'en sommes donc pas encore à ce sujet à établir une théorie; toutefois, bien que n'ayant pas encore la prétention de relier tous ces faits à une théorie définitive, il me semble utile de les étudier et de répéter les observations à leur sujet, car il n'est pas admissible que des mouvements périodiques aussi bien caractérisés que ceux que nous avons appelés les périodes anomales n'aient aucune influence dans la constitution des phénomènes météorologiques et qu'ils ne soient d'aucune utilité dans l'interprétation des faits. Il me semble donc que, ne fût-ce que comme branche de la physique générale, la recherche et l'étude des périodes anomales mériteraient de faire dans tout observatoire météorologique l'objet d'une étude spéciale.

CONCLUSIONS.

I. — Il existe une période anomale pour chaque lieu. La durée de la période varie de 6 à 14 jours, les périodes plus courtes étant en général propres aux lieux plus voisins de l'équateur.

Il peut y avoir des lieux où la longueur de certaines périodes peut correspondre accidentellement avec les durées des révolutions sidérale, anomalistique ou synodique de la lune ou même avec la durée de la rotation apparente du soleil; mais il ne faut en conclure aucun lien de dépendance entre les deux phénomènes.

II. — La forme des périodes anomales est une courbe du genre épicycloïde ou est composée d'une série d'épicycloïdes qui peuvent être aussi des épicycloïdes raccourcies.

III. — On commet une erreur grave dans la détermination des moyennes de température diurne; cela tient à la convention admise de choisir minuit comme origine du jour météorologique. Il est urgent de faire une nouvelle convention à ce sujet[1].

A toute période anomale correspond une période thermique de forme analogue. La forme thermique est contemporaine à celle de la période barométrique, ou bien les origines diffèrent l'une de l'autre de 1, 2, 3, etc. jours, suivant que le lieu considéré est à l'équateur ou s'en éloigne de plus en plus.

IV. — Les cyclones et anticyclones sont des phénomènes de même espèce. La section d'un cyclone est représentée par une épicycloïde raccourcie.

La partie concave correspond au centre du cyclone, et la partie convexe au centre de l'anticyclone.

[1] A proprement parler, le jour météorologique commence vers le lever du soleil.

ADDITIONS.

LONGUEUR APPROXIMATIVE DE DIVERSES PÉRIODES ANOMALES, AVEC LA DATE CORRESPONDANT À LEUR MINIMUM, CONSIDÉRÉ COMME CORRESPONDANT À L'ORIGINE DE CES PÉRIODES.

NOM OU POSITION DES LIEUX.	LONGUEUR DE LA PÉRIODE.	DATE DE L'ORIGINE DES PÉRIODES.
Hearth Content	9^{j} 8255	9 décembre 1868.
S. John de Terre-Neuve	10 1981	6 janvier 1875.
Océan Atlantique :		
1. Latitude 50° N. Longitude 50° W. Paris	9 658	7 octobre 1865.
2. Latitude 50° N. Longitude 45° W. Paris	9 658	7 octobre 1865.
3. Latitude 50° N. Longitude 40° W.	9 658	7 octobre 1865.
4. Latitude 50° N. Longitude 35° W.	10 457	7 octobre 1865.
5. Latitude 50° N. Longitude 30° W.	10 457	7 octobre 1865.
6. Latitude 50° N. Longitude 25° W.	10 8235	7 octobre 1865.
7. Latitude 50° N. Longitude 20° W.	10 428	8,5 octobre 1855.
8. Latitude 50° N. Longitude 15° W.	10 740	8 octobre 1865.
9. Latitude 50° N. Longitude 10° W.	9 605	9 octobre 1865.
Kingstown (Jamaïque)	9 00	29 janvier 1875.
Saint-Georges (Bermudes)	10 429311	18 avril 1875.
Ponta-Delgada (Açores)	8 8461	3 novembre 1868.
	7 80	8 novembre 1868.
Valentia	10 20	15 novembre 1868.
Plymouth	9 73638	6 novembre 1868.
Londres	9 190068	3 septembre 1868.
Greencastle	10 0038168	15 novembre 1868.
Nairn	10 80785	3 novembre 1868.
Shields	10 184137	14 octobre 1868.
Lorient	9 597	16 novembre 1868.
Rochefort	9 591343	19 septembre 1868.
Biarritz	9 452380	3 janvier 1869.
Toulon	9 3985764	3 janvier 1876.
Cap Gris-Nez	9 59363295	3 janvier 1869.
Bruxelles	10 270833	2 décembre 1867.
Utrecht	9 50753	6 novembre 1867.
Bodö	9 42259	6 janvier 1868.
Florö	11 1016228	3 décembre 1869.

NOM OU POSITION DES LIEUX.	LONGUEUR DE LA PÉRIODE.	DATE DE L'ORIGINE DES PÉRIODES.
Christiansund	10j 412245	6 janvier 1869.
	11 31959	10 janvier 1868.
	9 40974	8 janvier 1867.
Skudesnœs	9 930513	12 décembre 1867.
Saint-Pétersbourg	11 37467	12 janvier 1866.
	11 389408	3 octobre 1866.
Moscou	10 981203	9 janvier 1868.
Odessa	9 913	10 janvier 1871.
Nikolaïef	9 142	2 janvier 1868.
Sébastopol	9 61688	1er janvier 1868.
Kertch	9 094	5 janvier 1874.
Soukoum-Kalé	10 705882	12 janvier 1872.
Poti	8 8659	10 janvier 1870.
Berlin	10 53845	19 janvier 1870.
Vienne	9 823	4 janvier 1869.
Trieste	10 893162	11 janvier 1869.
Pola	10 1388889	1er janvier 1869.
Lesina	10 62136	13 janvier 1869.
Corfou	10 764	5 janvier 1876.
Athènes	9 0240964	1er janvier 1868.
Venise	9 619789	2 janvier 1868.
Ancône	10 135	9 janvier 1868.
Gênes	10 222	15 octobre 1873.
Livourne	8 94	16 octobre 1873.
Florence	10 289198	3 décembre 1867.
Rome	9 5842	4 janvier 1869.
Naples	9 9571984	4 décembre 1867.
Palerme	10 110598	4 janvier 1869.
Syracuse	10 7222	18 décembre 1873.
Santiago de Compostelle	13 25454	4 janvier 1870.
Lisbonne	10 00945	9 janvier 1869.
Fort Napier (Natal)	7 00	4 janvier 1875.
Colombo (Ceylan)	7 73	7 janvier 1875.
Honolulu (Sandwich)	9 40945	23 janvier 1875.

Annexe n° 25.

RÉSUMÉ D'UNE ÉTUDE CRITIQUE SUR LA GRÊLE,

PAR M. VIGUIER.

À l'occasion de l'orage de grêle qui, en juillet 1875, ravagea le département de l'Hérault, il me sembla que les insuccès que l'on rencontre dans l'étude de ce météore tiennent à ce que l'on néglige de tenir un compte suffisant de certains éléments qui, par leur constance, témoignent de leur intervention dans sa production et sa propagation. Ces éléments se rapportent à la distribution géographique des grêles, à la force et à la nature physique des courants où elles s'engendrent et qui les propagent, et enfin à la constitution générale de l'atmosphère maintenant mieux connue.

La répartition des grêles dans le midi de la France, surtout dans la région comprise entre le Rhône, la mer et les Cévennes, vint d'abord me faire connaître le rôle exclusif des vents d'Ouest à Sud-Ouest dans l'apparition du phénomène. Dans cette contrée, en effet, les vents arrivent avec des caractères individuels bien tranchés; après avoir traversé des mers et des continents bien différents, ou même franchi les massifs qui se sont trouvés sur leur parcours, ce ne sont point les vents chauds et humides et parfois bien violents et bien orageux du Sud à Sud-Est qui donnent la grêle, pas plus que le légendaire mistral, ou même les vents d'Est à Nord-Ouest généralement puissants dessiccateurs du Languedoc et de la Provence; les vents d'Ouest à Sud-Ouest y apportent seuls les grêles désastreuses; seuls, en effet, ils réunissent les conditions de pouvoir être à la fois violents, assez froids et humides. Les cartes de l'Observatoire permettent d'étendre, dans certaines limites, cette remarque au restant de la France. Souvent les grêles abordent les côtes de l'Océan avec ces ouragans qui nous viennent de l'Amérique; souvent aussi elles témoignent par leur direction assez générale à travers notre pays, de l'influence des grands massifs pyrénéens, français ou ibériques, de ces cîmes démantelées, comme le dit Ramond, qui nous envoient tant d'orages, de torrents et d'avalanches. Les observations de Lartigue, Peytier et bien d'autres météorologistes peuvent témoigner du reste bien surabondamment de la fréquente production des orages et des grêles dans ces hautes régions, et s'ils marchent, comme on ne le conteste guère, portés par les courants où ils s'engendrent, il n'y a rien d'étonnant qu'ils se précipitent dans les contrées placées sous le vent de ces massifs.

La remarque que je viens de faire est importante parce qu'elle conduit immédiatement, *a priori*, à l'exclusion de toutes les théories de la grêle qu'on a émises; on doit seulement bien s'étonner de ce que les météorologistes de la région méridionale n'aient pas songé à faire entrer en ligne de compte dans l'explication du météore un fait qu'ils ne contestent plus et qui est même du domaine public, surtout dans les Cévennes et sur ces vastes plateaux qui s'étendent à leurs pieds. Il est rare, en effet, que dans ces régions, les récoltes n'y soient pas plus ou moins atteintes chaque année et que, par suite, l'attention des cultivateurs n'y soit fortement éveillée à ce sujet.

Après avoir fait table rase, *a priori*, sans nous livrer à une discussion directe, et

bien facile du reste, comme on le sait bien, pour prouver l'insuffisance des théories anciennes ou modernes, cherchons à découvrir, à travers la multitude de rapports que nous possédons, les caractères généraux d'un orage de grêle désastreuse, car c'est là surtout qu'ils doivent se mettre le plus en évidence. Nous trouvons la violence et l'abaissement de température. Qui dit orage de grêle dit ouragan. La force du vent est acceptée généralement dans la production du phénomène; elle s'accuse par les désastres qui en résultent, plus grands parfois que ceux dus au météore, et surtout par la vitesse qu'il imprime à ces orages. Cette vitesse est en général supérieure à celle des orages de pluie, comme cela résulte des nombreuses évaluations qu'il est possible de faire. On doit peut-être s'étonner encore ici qu'on n'ait pas songé, dans l'explication des météores, à tirer parti d'un élément qui ne fait pas défaut dans les grands orages.

Au sujet de l'abaissement de température, on n'a guère considéré que le froid nécessaire à la formation des grêlons, et cependant on fût peut-être entré dans une bonne voie si l'on eût étudié les variations de température qui se sont produites à l'occasion des grêles désastreuses surtout. L'abaissement a parfois persisté des semaines, des mois entiers, et cela par un temps serein. Nous dirons donc avec Kaemtz et d'autres météorologistes qu'un orage de grêle marque le commencement du règne d'un vent plus froid. A son approche, le jour même de l'orage, le décroissement plus rapide de la température avec la hauteur, l'apparition des neiges sur les massifs et des grêles correspondantes dans les vallées témoignent, en général, de l'apparition de ce vent froid et violent qui pourra arriver sur nos côtes, chargé des éléments de la grêle, avec les ouragans que nous envoie l'Amérique, mais sur lequel je n'ai pas à me prononcer, son existence incontestée suffisant à ma cause. Les exemples remarquables que j'ai cités dans les *Bulletins de l'Association scientifique* se rapportent à diverses régions; pris au milieu d'un grand nombre d'autres, ils suffiraient déjà pour nous édifier au double point de vue, que je viens de rappeler, de la force du vent et de son abaissement de température dans les orages de grêle.

Il va sans dire que, dans les autres contrées, voire même dans le nord de la France, les phénomènes météorologiques ne se produisent pas avec la netteté que nous leur reconnaissons dans notre région méditerranéenne, à Utrecht, par exemple. D'après ce que l'on peut lire dans l'ouvrage de Musschenbrœk, la grêle peut y arriver par tous les vents, ceux du Sud-Est et du Sud exceptés. Sur cinquante cas de grêle qui se sont produits en dix ans, ce dernier vent ne l'y aurait apportée qu'une fois. Cette variété s'explique par la situation de cette région par rapport aux mers qui l'entourent et à tout le continent européen. Quelle que soit la contrée où un orage de grosse grêle puisse se produire, nous sommes fortement autorisés à penser que ce ne sera qué par un vent violent assez froid et chargé des éléments nécessaires à sa formation.

Ces éléments pourront bien naître aussi sur son passage, se trouver même répandus dans l'atmosphère, dans ces nuages, ces bancs d'aiguilles, de lamelles de glace, de neige, de grésil, si souvent rencontrés par les aéronautes : tandis qu'encore les courants nombreux qui soufflent dans tous les sens aux diverses altitudes, par la diversité de leur état physique, pourront modifier sensiblement les allures d'un orage de grêle et concourir à l'accroissement et aux transformations des grêlons.

Dans les notions préliminaires que je viens de résumer se trouvent les principes nécessaires et suffisants pour l'explication de la grêle ainsi que des moindres circonstances qui accompagnent la constitution des grêlons, leur propagation et leur chute.

Les formations qu'il s'agit d'expliquer constituent une série dont M. Fournet a depuis plusieurs années reconnu tous les termes. Les premiers sont, à la rigueur, constitués par les aiguilles de glace ou mieux les étoiles de neige, et les derniers sont représentés par ces agglomérations qu'on a souvent comparées au plum-pudding ou aux poudingues des géologues. Les grêlons à couches multiples, les masses de glaces excep-

tionnelles, devront encore trouver leur explication, ainsi que toutes les formes diverses et souvent bizarres que l'on a rencontrées, tout en devant cependant nous arrêter devant les mêmes difficultés que nous rencontrons au niveau du sol lorsqu'il s'agit d'expliquer les diverses formations cristallines, celle de l'eau surtout. Il ne suffit pas de dire ici que ces agglomérations diverses se produisent dans un milieu orageux chargé de divers éléments, à la manière des grains de grésil faisant boule de neige, par ces grains que les voyageurs rencontrent si souvent dans les pays de montagnes. Nous irons plus loin, à l'aide de considérations dynamiques auxquelles nous force de recourir l'introduction de la force du vent dans l'explication du phénomène. Ces considérations se rapportent surtout à la vitesse limite de la grêle suivant l'horizontale et à la vitesse suivant la verticale, l'atmosphère jouant ici le rôle de régulateur.

On voit *a priori* que la vitesse d'un grêlon suivant l'horizontale ne saurait dépasser ou même atteindre celle du vent qui pousse le mobile non dans le vide mais dans un milieu plus ou moins résistant. Les observateurs ont vaguement exprimé le rapport de ces vitesses et le calcul lui assigne une limite qu'il ne saurait dépasser. Dans les cas les plus favorables, il ne doit guère aller au delà de la demie.

La limite de la vitesse verticale croît comme la racine carrée du rayon du mobile. De plus, la force d'impulsion du vent croît comme le carré du rayon, tandis que la force qui tend à les faire dévier de l'horizontale croît comme le cube : de telle sorte que ce rapport étant de 5 à 6000 pour des sphères microscopiques se réduit à 200 pour la très petite grêle et à 20 pour celle qui se rapproche de la grosseur d'un œuf de pigeon.

Nous conclurons de ce dernier résultat que tandis que les plus gros grêlons du courant orageux décriront une courbe de moins en moins allongée à mesure que leur diamètre augmentera, les éléments ou les plus petits seront poussés avec une force dont peuvent nous donner une idée les trous percés dans les vitres du château de Rambouillet, lors de l'orage de 1788. Un grand nombre furent percées comme si on avait tiré dessus avec du plomb de chasse. La grêle était poussée avec une si grande force, nous disent quelques météorologistes, Kaemtz, Lecoq, entre autres, qu'elle se mouvait horizontalement.

On voit, en résumé, que les grêlons feront boule de neige, d'aiguilles de glace ou de grésil non seulement en ramassant, dans leur mouvement relatif dans le nuage, tous les éléments qu'ils rencontreront sur leur parcours, mais encore à l'aide des autres éléments que le courant, comme animé d'une vitesse à peu près moitié moindre, projetterait sur des corps immobiles, et ce mode d'accroissement se produira tant que le grêlon se trouvera dans le nuage qui porte la grêle, sauf ensuite, dans le restant de sa chute, à subir des modifications en rapport avec l'état du milieu qu'il traverse et la durée de cette chute. De là en somme résulte la possibilité de plusieurs modes d'accroissement. Une bourrasque lancera par exemple contre le grêlon qui tourbillonne une couche de neige qui pourra faire naître ensuite une couche de glace transparente, ou bien il suffira de très légères modifications dans les degrés d'humidité, de froid et d'agitation de l'air pour produire sur cette même couche quelque chose se rapprochant davantage de la glace transparente. Dans toutes ces agglomérations, si souvent mentionnées, on a pu constater parfois toutes les phases de ces transitions.

L'étude au microscope a permis aussi d'y reconnaître les lamelles microscopiques des nuages de glace. Mais c'est dans l'examen encore plus détaillé des diverses formes qui se sont produites qu'on arrive à reconnaître avec une extrême évidence le mode de formation que j'indique. Dans un orage, par exemple, étudié à Lyon seulement en 1874, la forme allongée n'indiquait pas, comme on le dit quelquefois, un mouvement de rotation autour du grand axe, mais encore une translation parallèlement à cet axe : à une de ses extrémités, on remarquait deux rangées d'imbrications opaques qui don-

naît aux grêlons l'aspect d'une pomme de pin. Une troisième rangée était à peine indiquée et l'extrémité était formée de glace transparente. Dans un autre, étudié par M. Lecoq, les deux extrémités du grand axe étaient criblées, d'après l'expression même de l'observateur, d'aiguilles de glace, tandis que la région équatoriale en possédait de moins développées et en moins grand nombre; l'accumulation avait donc dû se faire à la fois par les deux bouts, comme je l'ai indiqué. Mais supposons que, par des circonstances faciles à imaginer, elle ne se produise qu'en avant ou en arrière; on aura les formes coniques à base un peu concave ou un peu convexe plus ou moins lisse, et dont la surface latérale témoignera encore, par les aiguilles qui la recouvrent, du mode d'accroissement du mobile.

Je n'exclurai cependant pas d'une manière complète la formation de la glace à l'aide de ce que l'on a appelé, dans cette question, des condensations successives, qu'on a uniquement considérées, malgré l'évidence des agglomérations que j'ai rappelées. Rappelons-nous cependant que le nuage constitue un milieu orageux d'aiguilles de glace microscopiques ou de neige. Le verglas dut se former, avec leur aide, autour des poussières minérales ou des fragments de végétaux, de branches même, que le vent avait soulevés dans l'atmosphère, dans l'orage si souvent cité qui fut étudié par M. Espy. C'est enfin d'une manière analogue que se forme, sur les branches d'arbre, le verglas en hiver, ainsi que ces masses de glace qui, à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, constituent le plus grand embarras pour l'observation. D'après M. Alluard, pour produire sur les fils télégraphiques des cylindres de glace de la grosseur d'un homme, capables de les rompre sous leur poids, et d'autres masses pouvant rendre les postes impraticables, vingt-quatre heures suffisent à des vents froids et humides, c'est-à-dire à ceux mêmes qui portent les éléments de la grêle. La communication de M. Alluard a eu encore pour moi l'avantage de me renseigner sur la force du vent qui souffle parfois sur le Puy-de-Dôme. Elle est de même ordre que celle que j'ai signalée dans les Cévennes : elle pourrait enlever, le cas échéant, un homme absolument comme une plume, au dire même de Delambre, qui en avait éprouvé les effets dans la montagne Noire. Je crois à peu près inutile de dire que les choses se passent, pour les grêlons, comme pour des corps immobiles sur lesquels soufflerait, avec une vitesse moitié moindre, le vent qui porte la grêle. Les épaisses couches de verglas en question ne se trouvent donc pas dans des conditions plus favorables de formation et d'accroissement.

Poussant plus loin encore l'analyse, on verra qu'il n'y a pas jusqu'à ces bulles d'air parfois assez grandes qu'on trouve dans les grêlons qui ne témoignent du mode d'accroissement indiqué. Elles ont dû s'y trouver emprisonnées au milieu des éléments solides qui ont concouru au rapide accroissement de la grêle.

L'enchaînement des phénomènes naturels nous conduit ici à une autre conséquence importante. Les agglomérations dont nous constatons l'existence ne doivent guère se produire que par une température peu inférieure à zéro. Par un trop grand froid, la neige se réduit à une véritable poussière glacée, qui tourbillonne dans des bourrasques où le voyageur trouve parfois l'asphyxie, au lieu d'adhérer à la manière des flocons de neige pour former le grésil par un temps agité, mais qui n'a pas l'aigreur d'une froide bise. Dans notre région méridionale, les vents intermédiaires au Sud et au Nord donnent ordinairement à la neige et au grésil cette plasticité qui vient sans doute en aide au phénomène de la regélation. Les mesures directes de la température des grêlons, au moment de leur chute, de celle du milieu où ils se produisent, souvent à une altitude qui n'a rien d'excessif, tout cela semble bien prouver qu'un grand froid n'est pas nécessaire à leur formation. Le même principe nous rendrait encore compte de la chute de ces masses exceptionnelles dont l'authenticité ne saurait être contestée.

Nous abordons cependant alors l'une des difficultés qui s'offrent au premier abord dans l'ordre d'idées que j'indique. On a beau être convaincu des effets dus à la force du vent;

on se rappellera que pendant que la trombe de Malaunay, au dire de quelques paysans, *tournaillait* dans la vallée, les débris des maisons étaient portés vers la Manche par le courant principal. On saura que des arbres ont pu être arrachés, lancés comme des flèches, et bien d'autres faits encore qui, dans les orages de grêle surtout, ne sauraient être attribués à des phénomènes tourbillonnaires, on saura, dis-je, tout cela et l'on aura de la peine à concevoir que des masses de glace puissent être charriées sur un long parcours par le seul effet du vent. C'était dans les théories une difficulté qui disparaît ici en présence du rapide mode d'accroissement que nous venons de constater. Les nombreuses formes de grêlons, observées quelquefois dans des stations très voisines, peuvent bien en être une conséquence; à ce sujet, on ne doit pas manquer de citer l'orage du canton de Vaud.

La seconde difficulté naît, au premier abord, de la comparaison générale de la vitesse du vent à celle de la grêle : tandis que, en effet, toutes les évaluations qu'il est possible de faire ne donnent pas au météore une vitesse de plus de 28 mètres par seconde (25 lieues à l'heure), celle du vent peut atteindre 40 mètres, 50 mètres ou même davantage. Cette difficulté se trouve résolue par ce que j'ai déjà dit, et cet accord entre l'observation et le raisonnement, le calcul même, plaident bien fortement en faveur des idées que nous émettons.

J'aurais pu rappeler encore, au sujet du mode d'accroissement, un fait qui n'avait pas échappé aux anciens météorologistes; tandis que les choses se passent en général symétriquement autour du noyau de grésil qui tourbillonne dans le milieu orageux, d'autres fois l'agglomération deviendra plus complexe, et cela aura lieu surtout lorsque la tourmente aura été plus violente, plus troublée. Les orages du Catelet, du canton de Vaud, un autre qui vient de se produire dans la partie occidentale de l'Aveyron, peuvent être cités à l'appui de cette assertion, que je trouve d'abord formulée dans l'ouvrage de Musschenbrœk.

Nous avons accepté la formation des noyaux de grésil dans des circonstances acceptées par les météorologistes, ceux surtout qui sont familiers avec les pays de montagnes. Assez fréquemment cependant, dans les Cévennes, et même dans le bassin de l'Hérault, on peut assister à des phases un peu plus avancées du phénomène. Cela pourra se produire, par exemple, lorsque par un fort coup de mistral, les nuages apportés par les vents marins seront refoulés vers la mer. Le grésil même pourra se produire par le Sud-Est, lorsqu'il viendra se heurter à quelque bise froide, comme cela se produit en général à l'occasion des pluies diluviennes de la contrée. Ramond, dans sa traduction des lettres de Coxe, nous fait assister à des formations analogues, lorsqu'il nous montre les eaux de la chute du Staubbach, qui n'a pas moins de 900 pieds, réduites en gouttes et se condensant sous l'action d'un vent violent et froid.

Si nous raisonnons maintenant sur cette grêle, à la production et à l'accroissement de laquelle il nous a été possible d'assister, nous voyons les circonstances de sa chute de faible durée, dans une région assez restreinte, ou sur une longue bande le plus souvent irrégulière, se présenter comme conséquence de la force du courant et de la diminution relative de cette force, qu'elle soit due à l'accroissement des grêlons ou à la diminution effective de la violence du vent, ce dernier cas pouvant se produire par l'effet de l'inertie des masses d'air qu'il traverse, ou celui de la résistance que les courants divers ou les reliefs du sol lui opposent. Alors pourront se produire des orages qui, pour éclater quelquefois sur une faible étendue, n'en sont pas moins désastreux et moins remarquables pour le météorologiste.

Un orage étudié dans la Loire, en 1875, et celui du 6 août dernier dans l'Aveyron, sont deux types qui pourraient rester classiques comme celui de 1788 a pu le devenir pour les grêles qui se propagent sur une longue bande et que, jusqu'ici, on n'a qu'assez mal expliquées. Imaginons donc un torrent de grêle constituée comme il nous a été

donné de le voir, avec des aiguilles de glace, des neiges, des grésils qui sont poussés en avant pour aller accroître les dimensions des grêlons ou pour constituer les noyaux de nouvelles formations, jusqu'à ce que les dimensions de celles-ci deviennent de moins en moins en rapport avec la force du courant. La couche qui marche en avant éprouvera la principale résistance du milieu, ses grêlons devront par suite tomber, mais la résistance sera vaincue en ce point, et par suite le chemin sera ouvert aux couches suivantes. De là une durée de chute dont la grandeur dépendra de l'épaisseur du nuage et de sa vitesse. Elle correspond, en général, aux limites connues de la valeur de ces deux éléments. Des mouvements tourbillonnaires devront se produire sur les bords antérieurs du nuage surtout et se montreront encore bien plus prononcés à la rencontre de tout autre courant qui pourra intervenir pour modifier la physionomie générale de l'orage, pour hâter ou modifier aussi la chute des grêlons qui pourront d'abord s'échapper dans toutes les directions, mais qui, par suite de la résistance de l'air, ne conserveront bientôt plus que celle que leur communiquera le milieu orageux lorsqu'ils auront échappé à ces mouvements tourbillonnaires. Enfin le relief du sol, agissant principalement sur les couches inférieures du nuage, peut hâter la chute de leurs grêlons. Ce sont là tout autant de faits observés par MM. Lecoq, Kaemtz et d'autres météorologistes. Il y aurait à dire quelque chose encore sur les résistances que le courant à grêle éprouve sur ses bords, comme par l'effet de freins qui tendent à en diminuer la vitesse. Là, par suite, la grêle ne pourra arriver à un aussi grand développement, et deux bandes de pluie devront limiter la zone de grêle qui, dès lors, apparaît dans le milieu orageux comme indiquant la ligne du maximum de la crise.

On arrive à se rendre compte de toutes les inégalités que l'on rencontre dans les chutes de grêle, dans ses bizarres répartitions, en songeant à toutes les causes qui peuvent modifier le milieu où elle s'engendre, le courant qui la propage. Vitesse, état physique de courants divers, cols, vallées, reliefs du sol augmentés par des forêts, considérées alors au point de vue d'une action toute mécanique, répartitions inégales des nuages à grêle dans le milieu orageux, mailles d'un même nuage orageux qui pourront parfois se projeter sur quelques nimbus immobiles, comme dans un orage étudié par M. Lecoq : telles sont, en résumé, les circonstances qui pourront aider à concevoir les inégales répartitions des grêles, leur fréquence plus ou moins grande dans certaines régions, tout cela cependant en rattachant l'ensemble des phénomènes aux grands mouvements orageux et en tenant compte des lois générales de la géographie physique et de la météorologie.

Enfin quelques mots suffisent pour faire voir l'usage que l'on peut faire de la considération de la vitesse limitée suivant la verticale : elle est tout au plus de 7 à 8 mètres pour de petites billes de glace. Mais la force vive acquise au niveau du sol, c'est-à-dire la force de pénétration, croît rapidement avec le volume. Cette vitesse, qui croît, comme nous l'avons dit, proportionnellement à la racine carrée du rayon, nous donne les durées de la chute correspondante à une hauteur déterminée, et nous permet par suite de nous rendre compte de toutes les circonstances qui se rapportent aux chutes de grêle sur les montagnes et dans les vallées, à celles par exemple dont parlent Humboldt et d'autres savants voyageurs comme assez fréquentes au Mexique à 500 ou 600 mètres d'altitude, tandis qu'elles sont rares dans les vallées. Il est probable cependant que ces nombres se rapportent à d'assez petites grêles.

Que devient enfin dans les orages de grêle le rôle considérable qu'on a longtemps attribué à l'électricité et qu'on ne lui retire encore qu'avec regret, tant peut être grande l'influence d'un grand nom appuyée par quelques expériences de cabinet; comme si des phénomènes bien plus orageux n'étaient pas invariablement exempts de toute grêle? Ce rôle ne doit pas différer en effet de celui qu'elle joue dans les orages de pluie. Un peu plus de froid, une plus grande violence dans le courant, suffisent à la trans-

formation. C'est souvent aussi une question d'altitude où pourront encore intervenir les autres circonstances que j'ai mentionnées pour qu'un même orage donne la pluie ou la grêle suivant les localités qu'il traverse. Rien n'empêche du reste d'établir tous les termes d'une série commençant par le plus léger brouillard pour finir aux plus grosses grêles ou aux pluies les plus orageuses : elle se terminerait dans les deux sens pour les vents qui arrivent de l'Océan, en ce qui regarde l'ensemble de la France, mais elle s'arrêterait au grésil pour les orages que les vents marins apportent dans le Languedoc.

Je termine ici un exposé qui pour être complet eût exigé de bien plus grands développements dans les raisonnements, que je n'ai fait que résumer, et dans les calculs, que je n'ai pas même indiqués. Il eût fallu encore mentionner la multitude de rapports qui, après avoir servi de base à nos principes, ont encore permis de vérifier les conséquences que nous en avons déduites. Enfin un tableau général des vitesses des orages de pluie et de grêle eût sans doute encore aidé à asseoir des convictions qui, *a priori*, semblent bien amplement justifiées : et cela par l'enchaînement qui se trouve établi entre des phénomènes si divers étudiés à l'aide du microscope et du calcul. Le manque de base, les impossibilités, le peu de souci que l'on a des résultats de l'observation des lois bien établies de la géographie physique et enfin les contradictions où l'on se trouve engagé malgré le vague d'où l'on se garde bien de sortir, sont, en général, des motifs plus que suffisants pour ne pas prononcer l'exclusion absolue de tout autre ordre d'idées. Je souhaite que cet exposé, quelque imparfait qu'il soit, puisse aider à trouver le mot d'une énigme qui fait réellement tache dans la science moderne, à côté des beaux résultats de l'astronomie physique ou météorique qu'elle a pu atteindre. Je dois désirer encore qu'il permette aussi de voir en quelque chose, comment la météorologie pourra prendre rang parmi les sciences exactes.

TABLE DES MATIÈRES.

PROCÈS-VERBAUX ANALYTIQUES DES SÉANCES.

RÉUNIONS DU 24 AOÛT 1878.

RÉUNIONS DU 26 AOÛT 1878.

ANNEXES. — Mémoires et documents.


THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW
RENEWED BOOKS ARE SUBJECT TO IMMEDIATE
RECALL
LIBRARY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS
Book Slip-50m-5,'70 (N6725s8) 458—A-31/5


Call Number:
QC851
C63
1878
798844
Congrès international
de météorologie,
Paris, 1878.
Comptes rendus
sténographiques.
PHYSICAL
Nº 798844
QC851
C63
1878
Congrès international
de météorologie,
Paris, 1878.
Comptes rendus
sténographiques.
PHYSICAL
SCIENCES
LIBRARY
LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS